

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

549438

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
30. September 2004 (30.09.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/083110 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **B81B 3/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/002817

(22) Internationales Anmeldedatum:  
18. März 2004 (18.03.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 11 757.1 18. März 2003 (18.03.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **MICROGAN GMBH** [DE/DE]; Albert-Einstein-Allee 45, 89081 Ulm (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KUNZE, Milke** [DE/DE]; Heimstrasse 16, 89250 Senden (DE). **DAU-MILLER, Ingo** [DE/DE]; Obere Weiherstrasse 1, 89165 Dietenheim (DE). **BENKART, Peter** [DE/DE]; Kirchbergstrasse 12, 86447 Stotzard (DE). **KOHN, Erhard** [DE/DE]; Radgebweg 21, 89081 Ulm/Lehr (DE).

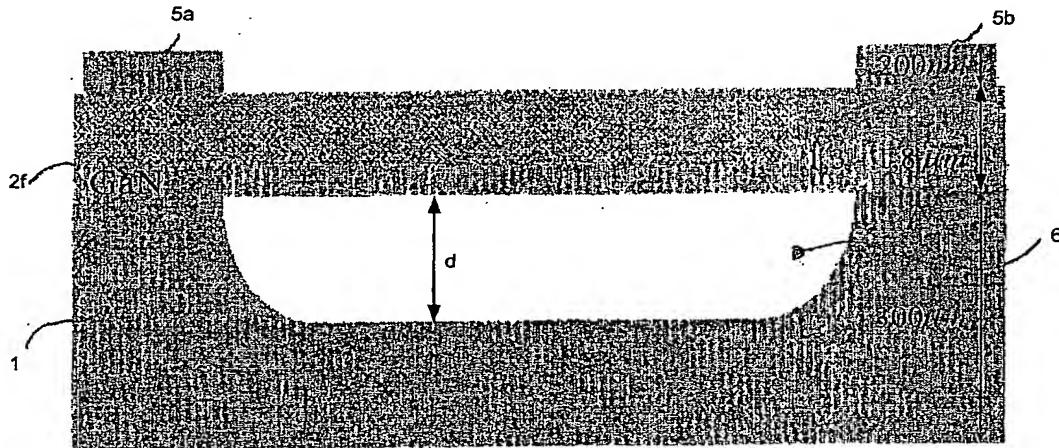
(74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR**; Mozartstrasse 17, 80336 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SENSOR ELEMENT WITH SELF-SUPPORTING BAR STRUCTURES MADE OF GROUP III NITRIDE BASED SEMICONDUCTORS

(54) Bezeichnung: SENSORELEMENTE MIT FREITRAGENDEN BALKENSTRUKTUREN AUS HALBLEITERN AUF GRUPPE-III-NITRIDBASIS



(57) Abstract: The invention relates to a sensor element which comprises a group III nitride-based semiconductor structure. The semiconductor sensor element is used to determine pressure, temperature, a force, a deflection or an acceleration. It comprises a substrate base (1), a group III nitride based homogeneous semiconductor layer arranged thereon, whereby the surface of homogeneous semiconductor layer (2, 2f) facing the substrate base (1) is arranged at least partially at a distance to the surface of the substrate base facing the homogenous semiconductor layer (2, 2f). The invention is characterized in that at least two electric terminal contacts (5) used to divert an electric output signal which can be produced by the homogeneous semiconductor layer (2, 2f), said contacts being arranged on and/or below the homogeneous semiconductor layer (2, 2f) or integrated therein.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Sensorelement, das eine Halbleiterstruktur auf Gruppe III-Nitridbasis aufweist. Das Halbleitersensorelement dient der Bestimmung des Drucks, der Temperatur, einer Kraft, einer Auslenkung oder einer Beschleunigung. Es

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**WO 2004/083110 A2**



FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

Sensorelemente mit freitragenden Balkenstrukturen aus  
Halbleitern auf Gruppe-III-Nitridbasis

5 Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Sensorelement, das eine Halbleiterstruktur auf Gruppe-  
III-Nitridbasis (beispielsweise aus GaN, AlN oder  
InN) aufweist, wobei die Änderung einer physikali-  
schen Größe (beispielsweise eines statischen und/oder  
10 dynamischen Drucks - z.B. in Strömungen von Gasen  
oder Fluiden - akustischer Schwingungen, einer Be-  
schleunigung, Auslenkung oder Temperatur) dadurch be-  
stimmt wird, dass die Halbleiterstruktur die Änderung  
15 der physikalischen Größe mittels ihrer piezoelektri-  
schen Eigenschaften in eine elektrische Ausgangsgröße  
bzw. ein entsprechendes Ausgangssignal umsetzt. Hier  
wie im Folgenden wird die Bezeichnung Gruppe-III bzw.  
Hauptgruppe-III als Abkürzung für die dritte Haupt-  
gruppe des Periodensystems der Elemente verwendet.

Mikrosensoren auf Basis von Halbleiterstrukturen auf Gruppe-III-Nitridbasis sind bereits aus dem Stand der Technik bekannt. So zeigt die Patentschrift US 0,066,319 A1 eine Mikromembran, welche an ein Substrat gekoppelt ist. Eine Druckänderung erzeugt eine Auswölbung der Membran. Diese Auswölbung wird mit Hilfe eines auf der Membran angebrachten Stresssensors erfasst und vom Stresssensor in ein elektrisch messbares Signal umgewandelt.

10

Ausgehend vom Stand der Technik ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Halbleitersensorelement zur Verfügung zu stellen, welches auf Basis eines Substrats eine integrierte, freitragende homogene Halbleiterschicht dergestalt aufweist, dass die freitragende integrierte homogene Halbleiterschicht die Änderung einer physikalischen Größe durch Änderung ihres räumlichen Zustands (beispielsweise einer Auslenkung) mittels ihrer piezoelektrischen Eigenschaften in ein messbares elektrisches Ausgangssignal umsetzt, welches durch direkt auf, an und/oder unter der homogenen Halbleiterschicht angebrachte Ableitungskontakte unmittelbar von der homogenen Halbleiter-Schicht ableitbar ist. Aufgabe der Erfindung ist es darüberhinaus, ein entsprechendes Messverfahren sowie ein entsprechendes Verfahren zur Strukturierung von erfindungsgemäßen Halbleitersensorelementen zur Verfügung zu stellen.

30

Diese Aufgabe wird durch ein Sensorelement gemäß Patentanspruch 1, durch ein Messverfahren gemäß Patentanspruch 50 sowie durch ein Halbleiterstrukturierungsverfahren gemäß Anspruch 53 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Sensorelementes bzw. der erfindungsgemäßen Verfahren sind in den jeweiligen abhängigen Ansprüchen beschrieben.

5 Hier wie im folgenden wird unter dem Begriff der homogenen Halbleiterschicht eine im gesamten Schichtvolumen einheitlich aus einem Halbleitermaterial auf Gruppe-III-Nitridbasis (beispielsweise GaN) aufgebau-  
10 te Schicht verstanden. Im Gegensatz hierzu weist eine Heterostruktur mindestens zwei auf- oder aneinander angeordnete homogene Halbleiterschichten auf (beispielsweise AlGaN/GaN-Heterostruktur: AlGaN-Schicht auf GaN-Schicht).

15 Die erfindungsgemäß verwendeten Halbleiterstrukturen auf Gruppe-III-Nitridbasis, wie beispielsweise Galliumnitrid, Aluminiumnitrid oder Indiumnitrid, zeichnen sich gegenüber herkömmlichen Strukturen durch ihre piezoelektrischen Eigenschaften aus. Diese können zur mechanischen Sensorik verwendet werden, da eine über den Kristall gleichgerichtete und von der Verspannung im Material abhängige Polarisation entsteht, die beispielsweise durch eine Ladungsträgerdichteänderung an der Oberfläche bzw. an der Grenzfläche zu einem anderen Material auswertbar ist (Heterostruktur, beispielsweise AlGaN/GaN). Die Ladungsträger resultieren hierbei direkt aus der Polarisation. Grundlage der erfindungsgemäßen Sensoren ist eine mechanische Veränderung im Gitter, welche eine elektrisch messbare Veränderung in der Struktur zur Folge hat. Wie aus der Theorie bekannt ist, verändert sich die Polarisation im Material und somit die Ladungsträgerdichte in einem Heterostruktur-Kanal mit der Veränderung der Gitterkonstanten. Eine Möglichkeit für die Verwirklichung von erfindungsgemäßen Sensorelementen ist somit ein Heterostruktur-Kanal, da in diesem zuverlässig eine ausreichende Ladungsträgerdichte erzielt werden kann. Die Ausnutzung der Eigenschaften einer Heterostruktur bzw. des Heterostrukturkanals ist zur Realis-  
20  
25  
30  
35

sierung einer erfindungsgemäßen Sensorstruktur jedoch nicht unbedingt erforderlich: Es hat sich gezeigt, dass auch mit homogenen Halbleiterschichten (beispielsweise aus undotiertem GaN) ein ausreichend hohes Signal-Auslenkung-Verhältnis erzielt werden kann. Nur ein Volumenmaterial (GaN, InN, AlN, AlGaN, InGaN) ist für Sensoranwendungen somit ausreichend. Die piezoelektrischen Materialeigenschaften können dazu verwendet werden, Strukturen herzustellen, die ohne eine Dotierung mit Fremdatomen auskommen, um die Leitfähigkeit zu erzeugen. Ebenso ist die Kombination mit einer Dotierung möglich (p- oder n-Dotierung beispielsweise des Volumenmaterials zur besseren Kontaktierung). Da die Piezoeigenschaften des Materials die freien Ladungsträger in den Volumenmaterialien bzw. Strukturen beeinflussen, wird erfindungsgemäß die Manipulation der Piezoeigenschaften zur Erstellung von Sensorbauelementen verwendet. Hierbei wird über eine äußere Einflussnahme auf die freie Ladungsträgerdichte im Bauelement eingewirkt.

Die auf bearbeitbaren Substraten (insbesondere vorteilhafterweise auf Siliziumsubstraten) hergestellten Bauelemente werden erfindungsgemäß partiell oder vollständig vom Substrat freigelegt.

Durch mechanisches Verbiegen eines Volumenmaterials entstehen je nach Biegerichtung p- oder n-Ladungsträger im Volumenmaterial. Aus diesem Grund kann auf diesen Schichten ein p-Kontakt und ein n-Kontakt zum Einsatz kommen. Durch das Diodenverhalten derartiger Kontakte kann dann bei entsprechender Biegung Strom fließen, bei entgegengesetzter Biegung aber nicht.

Die Herstellung von beispielsweise Diodenstrukturen oder Transistorbauelementen auf Basis der Gruppe-III-

Nitride ermöglicht zudem erfindungsgemäß die Integration der Sensorbauelemente mit elektrischen bzw. elektronischen Schaltungen. Dies können beispielsweise Kompensationsschaltungen (z.B. gegen äußere Einflüsse) oder Verstärkerschaltungen (beispielsweise zur Signalverstärkung) sein.

Ein erfindungsgemäßes Halbleitersensorelement weist eine Substratbasis und eine auf dieser Substratbasis angeordnete homogene Halbleiterschicht auf Basis von Nitriden von Hauptgruppe-III-Elementen auf, wobei die der Substratbasis zugewandte Oberfläche der homogenen Halbleiterschicht zumindest teilweise nicht direkt an die Substratbasis angrenzt bzw. einen Abstand zu der der homogenen Halbleiterschicht zugewandten Oberfläche der Substratbasis aufweist und zeichnet sich dadurch aus, dass mindestens zwei elektrische Ableitungskontakte zur Ableitung eines durch die homogene Halbleiterschicht aufgrund einer Änderung einer mit Hilfe des Halbleitersensorelementes zu bestimmenden physikalischen Größe erzeugbaren elektrischen Ausgangssignals unmittelbar auf, an und/oder unter der homogenen Halbleiterschicht angeordnet sind oder in diese integriert sind.

In einer ersten vorteilhaften Ausgestaltungsvariante des erfindungsgemäßen Halbleitersensorelementes ist mindestens einer der Kontakte im Bereich des nicht direkt an die Substratbasis angrenzenden bzw. einen Abstand zu der Oberfläche der Substratbasis aufweisenden Bereichs (Abstandsbereich) der homogenen Halbleiterschicht angeordnet und mindestens einer der Kontakte im Bereich eines direkt an die Substratbasis angrenzenden bzw. keinen Abstand zu der Oberfläche der Substratbasis aufweisenden Bereichs (nicht-Abstandsbereich) der homogenen Halbleiterschicht an-

geordnet.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform weist die homogene Halbleiterschicht einen Erhebungsbereich bzw. Mesabereich auf, welcher in Richtung senkrecht zu der der homogenen Halbleiterschicht zugewandten Oberfläche der Substratbasis eine größere Dicke aufweist als ein an diesen Bereich in einer Richtung parallel zu der der homogenen Halbleiterschicht zugewandten Oberfläche der Substratbasis angrenzender Bereich (Nicht-Mesabereich) der homogenen Halbleiterschicht. Vorteilhaftweise ist hierbei der Erhebungsbereich bzw. Mesabereich so angeordnet, dass er sich in einer Richtung parallel zu der der homogenen Halbleiterschicht zugewandten Oberfläche der Substratbasis teilweise über den Abstandsbereich der homogenen Halbleiterschicht erstreckt und dass er sich teilweise über den Nicht-Abstandsbereich der homogenen Halbleiterschicht erstreckt. Vorteilhaftweise erfolgt hierbei der Übergang vom Abstandsbereich zum Nicht-Abstandsbereich in der Richtung parallel zu der der homogenen Halbleiterschicht zugewandten Oberfläche der Substratbasis im Bereich der Mitte des Erhebungsbereichs bzw. Mesabereichs. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsvariante ist mindestens einer der Kontakte unmittelbar an und/oder im Bereich einer äußeren Kante des Erhebungsbereichs bzw. Mesabereichs angeordnet. In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weist die homogene Halbleiterschicht im Nicht-Mesabereich in Richtung senkrecht zu der der homogenen Halbleiterschicht zugewandten Oberfläche der Substratbasis eine Dicke von über 0,2 µm und/oder unter 50 µm, insbesondere von über 0,5 µm und/oder unter 5 µm auf, und/oder die homogene Halbleiterschicht weist im Erhebungsbereich bzw. Mesabereich die Dicke des Nicht-Mesabereichs und zusätzlich eine

Dicke von über 20 nm und/oder unter 1000 nm, insbesondere von über 50 nm und/oder unter 300 nm, auf.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsvariante besteht die Substratbasis aus Silizium. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsvariante enthält die homogene Halbleiterschicht  $Al_xGa_{1-x}N$  oder  $In_xGa_{1-x}N$  oder  $In_xAl_{1-x}N$  mit einem relativen Elementgehalt von  $0 \leq x \leq 1.0$ . Besonders bevorzugt besteht die homogene Halbleiterschicht aus GaN. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsvariante ist ein durch den Abstand zwischen der homogenen Halbleiterschicht und der Substratbasis vorhandener Raumbereich nicht ausgefüllt, so dass die Halbleiterschicht in Bezug auf die Substratbasis zumindest teilweise freitragend ist. In einer weiteren Variante kann dieser Raumbereich auch mit einem nicht-metallischen und nicht-halbleitenden Material zumindest teilweise ausgefüllt sein. Hierbei ist das Material so zu wählen, dass insbesondere die Wärmetransporteigenschaften und/oder die mechanischen Eigenschaften und/oder die Hochfrequenzeigenschaften des Sensorelements verbesserbar sind. Beispiele für Füllmaterialien, die einzeln oder grundsätzlich in beliebigen Kombinationen verwendet werden können, sind:  $SiO_2$ ,  $Si_xNy$  (insbesondere SiN), DLC (diamond-like carbon), Diamant, silikonartige Füllmaterialien,  $Al_2O_3$ , thermisch leitfähige Kunststoffe (insbesondere Dow Corning Q3-3600, 1-41xx und/oder SE44xx). In den bisher beschriebenen Varianten kann die homogene Halbleiterschicht entweder un-dotiert sein oder p-dotiert oder n-dotiert sein. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsvariante wird statt eines Volumenmaterials eine Heterostruktur verwendet: Hierzu ist auf oder an der homogenen Halbleiterschicht auf deren Substratbasis abgewandter Seite eine  $Al_yGa_{1-y}N$  oder  $In_yGa_{1-y}N$  oder  $In_yAl_{1-y}N$  mit

5 einem relativen Elementgehalt von  $0 \leq y \leq 1.0$  aufweisende Deckschicht angeordnet. Die Deckschicht ist hierbei bevorzugt nur auf oder an dem Erhebungsbe-  
reich bzw. Mesabereich angeordnet, nicht jedoch im  
10 Nicht-Mesabereich. Besonders bevorzugt besteht die Deckschicht aus AlGaN, insbesondere mit einem Ele-  
mentgehalt von  $0.1 \leq y \leq 0.3$ , insbesondere bevorzugt von  $0.15 \leq y \leq 0.25$ . Die Deckschicht kann hierbei me-  
chanisch verspannt sein. Sie kann darüberhinaus eben-  
falls undotiert, p-dotiert oder n-dotiert sein. Wei-  
15 tere entsprechende Halbleiterschichten können auf der Deckschicht angeordnet sein. Bei den dotierten Vari-  
anten beträgt der Dotierstoffgehalt vorteilhaft erwe-  
se bis etwa  $10^{20}$  pro  $\text{cm}^3$ . Als Dotierstoff ist vor-  
teilhaft erweise Silizium und/oder Magnesium zu ver-  
wenden. Es kann sich hierbei um Volumendotierungen  
20 und/oder Pulsdotierungen handeln.

25 Die beschriebenen elektrischen Ableitungskontakte sind vorteilhaft erweise p- und/oder n-Kontakte. In den Heterostruktur-Varianten sind die elektrischen Ableitungskontakte vorteilhaft erweise so angeordnet, dass mit ihrer Hilfe ein im Übergangsbereich zwischen der homogenen Halbleiterschicht und der Deckschicht entstandenes elektrisches Ausgangssignal (im Hetero-  
struktur-Kanal entstandenes elektrisches Ausgangssig-  
nal) ableitbar ist. Die elektrischen Ableitungskon-  
takte sind hierzu vorteilhaft erweise unmittelbar an  
30 der Grenzfläche zwischen der homogenen Halbleiter-  
schicht und der Deckschicht angeordnet. Vorteilhaft erweise weisen die elektrischen Ableitungskontakte eine Metallisierung auf, welche für den n-Kontakt Ti und/oder Al enthält oder daraus besteht und/oder wel-  
che für den p-Kontakt Ni und/oder Au enthält oder  
35 daraus besteht. Die Dicke der Metallisierung beträgt hier vorteilhaft erweise bis 1000 nm, insbesondere be-

vorzugt bis 200 nm.

Die zu bestimmende physikalische Größe kann beispielsweise der Druck, die Temperatur, eine Kraft, eine Auslenkung oder eine Beschleunigung sein. Die Änderung des räumlichen Zustandes der homogenen Halbleiterschicht bzw. der Heterostruktur kann hierbei eine Änderung der Form, des Volumens, der Struktur, einer der Oberflächen oder einfach eine Auslenkung bzw. eine Auswölbung in Bezug auf die Substratbasis sein. Das Ausgangssignal kann insbesondere in Form eines Stroms, einer Spannung oder eines elektrischen Widerstandes bzw. Änderung derselben erfasst werden.

In weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsformen des erfindungsgemäßen Sensorelementes ist die homogene Halbleiterschicht an einem oder mehreren Ankerpunkten so mit der Substratbasis verbunden, dass zumindest ein Teil des nicht an dem Ankerpunkt bzw. den Ankerpunkten verbundenen Teils der homogenen Halbleiterschicht in Bezug auf die Substratbasis freitragend ist und durch eine Änderung der zu bestimmenden physikalischen Größe in Bezug auf die Substratbasis unmittelbar auslenkbar ist. In einer weiteren Variante ist das Sensorelement bzw. die homogene Halbleiterschicht als funktionelle Einheit mit integrierten elektrischen oder elektronischen Schaltungen aus Halbleiterstrukturen auf Hauptgruppe-III-Nitridbasis ausgeführt. Bevorzugt weisen die Schaltungen hierbei Diodenstrukturen, Transistorelemente oder Temperatursensorelemente auf. Sie können Kompensationsschaltungen oder Verstärkerschaltungen insbesondere zur Signalverstärkung darstellen. Das Ausgangssignal ist in einer weiteren Ausführungsform mittels Schottky-Kontakten ableitbar. Die Schaltungen können als Wheatstonesche Brücken ausgeführt sein.

Das vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Halbleitersensorelement weist eine Reihe von Vorteilen auf:

- 5 • Es können neuartige Sensorapplikationen in einer funktionellen Einheit mit integrierten elektronischen Schaltungen auf Gruppe-III-Nitridbasis hergestellt werden.
- 10 • Es können in Kombination mit Silizium-Substraten reproduzierbar preiswerte neuartige Sensorelemente hergestellt werden.
- 15 • Es sind vielfache Anwendungen im Bereich der Sensorik oder Mikromechanik möglich, es können neue Applikationsfelder durch die Materialeigenschaften der Gruppe-III-Nitride der Sensorelemente erschlossen werden, beispielsweise im Bereich der Hochtemperaturanwendungen.
- 20 • Da der Sensor selbst ein freitragendes aktives Bauelement ist, welcher die Änderung der physikalischen Größe direkt in ein elektrisches Signal umsetzt, kann der Sensor selbst vorverspannt oder vorverformt werden. Hierdurch ist beispielsweise eine Temperaturkompensation möglich.

25 Erfindungsgemäße Sensorelemente können wie in einem der nachfolgenden Beispiele beschrieben ausgeführt sein, verwendet werden oder hergestellt werden. In den den einzelnen Beispielen entsprechenden Figuren sind sich entsprechende bzw. identische Bauelemente der Sensorelemente mit denselben Bezugszeichen versehen.

30 Es zeigt Figur 1 verschiedene Möglichkeiten, die Form eines erfindungsgemäßen Sensorelementes zu gestalten.

35 Es zeigt Figur 2 erfindungsgemäße Beschleunigungssen-

soren.

Es zeigt Figur 3 einen erfindungsgemäßem Drucksensor.

5 Es zeigt Figur 4 einen Schichtaufbau einer Halbleiterprobe, aus der ein erfindungsgemäßes Sensorelement hergestellt werden kann.

10 Es zeigt Figur 5 einen Ätzmechanismus, mit dem ein erfindungsgemäßes Sensorelement hergestellt werden kann.

15 Es zeigt Figur 6 in Seitenansicht schematisch ein erfindungsgemäßes Sensorelement mit einem freitragenden Balken aus AlGaN/GaN auf einem Siliziumsubstrat.

Es zeigt Figur 7 einen Schnitt durch einen Beschleunigungssensor mit einer Heterostruktur.

20 Es zeigt Figur 8 Ausgestaltungsformen erfindungsgemäßer Biegebalken.

25 Figur 1a zeigt sieben verschiedene Ausgestaltungsformen eines erfindungsgemäßen Sensorelementes. In jeder der Teilfiguren 1A bis 1G ist eine Ausgestaltungsform in Aufsicht auf die Substratbasissschicht 1 gezeigt. Jede der Ausgestaltungsformen weist ein Siliziumsubstrat 1 sowie darauf angeordnet eine homogene Halbleiterschicht 2 bzw. einen nach Ausätzen einer gewünschten geometrischen Struktur verbliebenen Teil einer vormals das Substrat 1 vollständig bedeckenden Gesamtschicht auf. Ein Teil 2a der (verbliebenen) homogenen Halbleiterschicht 2 ist freitragend ausgeführt, d.h. oberhalb eines in das Substrat 1 eingesetzten Hohlraums 6 so angeordnet, dass der freitragende Teil 2a durch Einwirkung der zu bestimmenden

physikalischen Größe auslenkbar ist. Der freitragende Teil 2a bzw. die homogene Halbleiterschicht 2 ist mit dem Substrat 1 über eine unterschiedliche Zahl von Ankerpunkten 3 verbunden. Durch Auslenkung des freitragenden Teils 2a verändert sich die Polarisation im Material (Volumenmaterial der homogenen Halbleiterschicht 2) und somit entsteht eine veränderte Ladungsträgerdichte im Material bzw. falls durch Aufbringen weiterer Schichten auf die homogene Halbleiterschicht 2 eine Heterostruktur vorliegt an der Materialoberfläche bzw. an der Grenzfläche zu einem anderen Material, welche durch am Rand des Hohlraums 6 auf das Siliziumsubstrat 1 aufgebrachte, an der homogenen Halbleiterschicht 2 bzw. deren Ankerpunkte 3 angeordnete, an die Halbleiterschicht 2 unmittelbar angrenzende Kontakte 5 vorzugsweise in Form einer Stromänderung abgegriffen wird. In Figur 1A ist der freitragende, auslenkbare Teil 2a der homogenen Halbleiterschicht 2 mit der Substratbasis 1 über drei Ankerpunkte 3 so verbunden, dass der auslenkbare Teil 2a ein im wesentlichen y-förmiger Balken ist. Die drei Ankerpunkte 3 sowie drei zugehörige Kontakte 5a-5c sind an den drei Enden des y- bzw. des entsprechenden Balkens angeordnet. Die y-Balkenform hat den Vorteil, dass eine große Veränderung der Ladungsträgerdichte bei kleiner mechanischer Auslenkung zu erwarten ist. In Figur 1B ist der freitragende, auslenkbare Teil 2a der homogenen Halbleiterschicht 2 mit der Substratbasis 1 über zwei auf derselben Seite des ausgeätzten Hohlraums 6 liegenden Ankerpunkte 3 der homogenen Halbleiterschicht 2 so verbunden, dass der freitragende, auslenkbare Teil 2a im wesentlichen einen U-förmigen Balken darstellt. Die beiden Ankerpunkte und die zugehörigen Kontakte 5a bis 5b sind an den beiden Enden des U bzw. des entsprechenden Balkens, somit also auf derselben Seite des Hohlraums 6

bzw. an einer Randseite des Hohlraums 6, angeordnet. Mit einem U-förmigen Balken kann ein auftretender Effekt an der Biegeverspannung nahe der Substratkante gemessen werden, ohne dass dabei eine Kompensation durch die entgegengesetzte Biegung eintritt, wie es bei geraden, zweifach eingespannten Balken der Fall ist. Figur 1C und Figur 1E zeigen einen freitragenden, auslenkbaren Teil 2a, der mit der Substratbasis so über vier Ankerpunkte 3 verbunden ist, dass der auslenkbare Teil 2a im wesentlichen einen X- oder H-förmigen Balken darstellt. Die vier Ankerpunkte sind an den vier Enden des X- bzw. des H-Balkens angeordnet. X- bzw. H-förmige Strukturen bieten den Vorteil, unterschiedliche Messpfade wählen zu können bzw. die für den Signalabgriff verwendeten Kontakte 5 der vier Kontakte 5a bis 5d auswählen zu können. Figur 1D zeigt einen Fall, in dem der freitragende, auslenkbare Teil 2a der homogenen Halbleiterschicht 2 mit der Substratbasis 1 über eine Vielzahl von Ankerpunkten 3 so verbunden ist, dass der freitragende, auslenkbare Teil 2a im wesentlichen einen doppelkammförmigen Balken darstellt. Die Ankerpunkte 3 bzw. Kontakte 5a, 5b sind jeweils an den Enden der Kammzinken bzw. den einzelnen Balkenenden angeordnet. Die Kammform hat gegenüber normalen geraden Balken den Vorteil verbesserter Empfindlichkeit. Figur 1F zeigt einen Fall, in dem ein freitragender, auslenkbarer Teil 2a der homogenen Halbleiterschicht 2 mit der Substratbasis 1 über genau einen Ankerpunkt 3 so verbunden ist, dass ein freitragender, auslenkbarer geradliniger Balken entsteht. Der Ankerpunkt 3 ist an einem der Enden des Balkens angeordnet, ein erster Kontakt 5 am Ankerpunkt 3. Der Gegenkontakt (nicht gezeigt) ist am freien Balkenende in den Teil 2a integriert. Figur 1G zeigt einen Fall, in dem ein freitragender, auslenkbarer Teil 2a mit der Substratbasis 1 über genau zwei

Ankerpunkte 3 so verbunden ist, dass ein beidseitig eingespannter, freitragender geradliniger Balken entsteht. Die beiden Ankerpunkte 3 befinden sich an den beiden Enden des geradlinigen Balkens ebenso die zu-  
5 gehörigen Kontakte 5a, 5b. Die Strukturen mit mindes-  
tens zwei direkt gegenüberliegenden Ankerpunkten 3,  
d.h. von oben gesehen mit Ankerpunkten 3 auf zwei ge-  
genüberliegenden Seiten des ausgeätzten Hohlraums 6  
haben den Vorteil, dass über die entsprechenden Bal-  
10 ken durch Auslenkung des Zentrums eine Verspannung  
über der gesamten Fläche, also zusätzlich neben einer  
Dehnung und einer Stauchung in den Biegeradien auch  
eine Verlängerung des Balkens und somit auch einer  
Dehnung der Elementarzellen erreicht werden kann.

15 Die Figuren 1b und 1c zeigen zwei weitere erfindungs-  
gemäße Sensorstrukturen, die analog zu der in Figur  
1F dargestellten Sensorstruktur aufgebaut sind, d.h.  
nur einseitig auf dem Substrat 1 (linke Seite der Ab-  
20 bildungen) angeordnet sind, während die freistehende  
Seite 2a der Halbleiterschicht 2 (rechte Seite der  
Abbildungen) ohne Verbindung zu einem Träger steht.  
Die beiden dargestellten Strukturen weisen eine GaN-  
Pufferschicht 2 auf, welche zum Teil auf dem Substrat  
25 1 angeordnet ist und welche zum Teil (Bereich 2a)  
freitragend oberhalb des ausgeätzten Hohlraums 6 an-  
geordnet ist. Auf der GaN-Pufferschicht 2a ist eine  
Deckschicht aus AlGaN 9 in Form einer Mesa so ange-  
ordnet, dass die Mesa zum Teil oberhalb des Substra-  
30 tes 1 und zum Teil oberhalb des ausgeätzten Hohlraums  
6 angeordnet ist. Ohmsche Kontakte (gezeichnet sind  
zwei Kontakte 5a und 5b, es können jedoch auch mehr  
Kontakte aufgebracht werden) sind an der Kante des  
Übergangs vom nicht freistehenden Bereich (oberhalb  
35 des Substrats 1) zum freistehenden Halbleiterbereich  
(oberhalb des ausgeätzten Hohlraums 6) angebracht. In

Figur 1b ist eine Konfiguration gezeigt, wobei die beiden Kontakte 5a und 5b quer zur Balkenausdehnung (Richtung von Substrat 1 zu Hohlraum 6 bzw. in der Figur von links nach rechts) auf der Mesa 9 angebracht sind, der Kontakt 5b vor dem Übergang, der Kontakt 5a hinter dem Übergang. Der hinter dem Übergang auf dem freistehenden Bereich 2a angebrachte Ohmsche Kontakt 5a wird mittels einer Leitung 11 entlang der Mesa 9 elektrisch zum Bereich vor dem Übergang geführt. Auch der zweite Kontakt 5b ist mit einer solchen Leitung 11 versehen. In der in Figur 1c gezeigten Konfiguration sind die beiden Ohmschen Kontakte 5a und 5b längs zur Balkenausdehnung angebracht, einer am oberen Rand auf der Mesa 9, einer am unteren Rand auf der Mesa 9. In diesem Fall überqueren die Kontakte 5a und 5b den Bereich des Übergangs des Halbleitermaterials 2 vom nicht freistehenden Bereich oberhalb des Substrats 1 zum freistehenden Bereich 2a. Optional (daher gestrichelt gezeichnet) kann ein Steuerkontakt 10 analog eines Gates eines Transistors (vorzugsweise in Form eines Schottky-Kontaktes) in einem definierten Abstand zu einem der Ohmschen Kontakte 5a und 5b angeordnet sein. Der Abstand beträgt vorzugsweise 0,3 µm bis 0,5 µm. Das Gate 10 ist ebenfalls mit einer elektrischen Zuleitung 11 versehen. Es können auch weitere Steuerkontakte bzw. Gates angeordnet bzw. verwendet werden.

Figur 2a zeigt einen erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor. Dieser Beschleunigungssensor ist ebenfalls in Aufsicht dargestellt. Der grundlegende Aufbau des Beschleunigungssensors entspricht hierbei dem Aufbau der in Figur 1 dargestellten Sensoren (identische Elemente bzw. Bestandteile sind mit identischen Bezugszeichen versehen). Der Beschleunigungssensor weist zwei viertelkreisförmig ausgestaltete freitra-

gende Balken 2a aus GaN auf, die jeweils an zwei Ankerpunkten 3 am Substratrand des Si-Substrats 1 befestigt sind. Jeder Balken 2a weist hierbei zwei Ankerpunkte 3 an aneinander angrenzenden Rändern des im dargestellten Schnitt quadratischen, freigeätzten Hohlraums 6 auf. Die Ankerpunkte 3 bzw. die Balken 2a sind über nicht freitragende, in der Nähe der Substratkante 1a bzw. den Rändern des Hohlraums 6 angeordnete Abschnitte 2b aus GaN der homogenen Halbleiterschicht 2 miteinander verbunden. Die Abschnitte 2b verbinden jeweils die zwei Ankerpunkte 3 eines jeden Balkens 2a. An den Abschnitten 2b sind die Kontakte 5 angeordnet. An den freitragenden Abschnitten 2a ist eine im dargestellten Schnitt quadratische seismische Masse 4 als Herzstück des Beschleunigungssensors befestigt. Diese befindet sich vollständig oberhalb des ausgeätzten Hohlraums 6 und ist lediglich über die beiden gekrümmten Balken 2a bzw. die zugehörigen vier Ankerpunkte 3 mit der Substratbasis verbunden. Die Bedeutung der Strukturen 8 wird in der Beschreibung von Figur 2b (welche einen Ausschnitt des Beschleunigungssensors aus Fig. 2a zeigt) erläutert. Wird der Sensor einer Beschleunigung unterworfen, so wird die seismische Masse 4 aus ihrer Ruheposition ausgelenkt. Durch Auslenkung der seismischen Masse 4 verspannen sich die Balkenabschnitte 2a, wodurch es an der Substratkante zu einer Änderung des Widerstands des Messstreifens 2a kommt. Die Änderung des Widerstands des Messstreifens wird mit Hilfe der Kontakte 5 über eine Wheatstone-Schaltung gemessen. Optional kann die Sensorstruktur bzw. die Schaltung auch mit Gates (vorzugsweise als Schottky-Kontakte, beispielsweise in Form einer Metallisierung mit einer Ni-Schicht und einer Au-Schicht in einer Dicke von beispielsweise bis zu 200 nm, bevorzugt in einer Dicke bis zu 20 nm, ausgeführt), versehen sein, die zur Arbeitspunktein-

stellung oder zur Kompensation verwendet werden.

Figur 2b zeigt einen Ausschnitt des in Figur 2a dargestellten Beschleunigungssensors. Die Abschnitte 2a und 2b der homogenen Halbleiterschicht 2 sind überall mit einer Metallisierungsschicht versehen außer in den Bereichen 8a, 8b und 9. Der Bereich 9 ist hierbei unmittelbar an den gezeigten Ankerpunkt 3 angeordnet und ist zum Teil freitragend (unterer Abschnitt von dem Bereich 9) und zum Teil (oberer Abschnitt bzw. am Ankerpunkt 3) nicht freitragend. Die Abschnitte 8a, 8b und 9 stellen Erhebungsbereiche bzw. Mesabereiche der homogenen Halbleiterschicht 2 dar, d.h. Bereiche, in denen die Dicke der homogenen Halbleiterschicht 2 gegenüber den restlichen Bereichen von 2a und 2b erhöht ist. Wird anstelle einer homogenen Halbleiterschicht 2 aus GaN eine Heterostruktur aus AlGaN/GaN verwendet, so ist die Heterostruktur nur in den Bereichen 9, 8a und 8b vorhanden, in den restlichen Bereichen 2a und 2b ist dann nur die mit der Metallisierung versehene Pufferschicht aus GaN vorhanden. Die Mesaabschnitte 8a, 8b und 9 werden im folgenden auch alternativ als Widerstände bezeichnet. Bei dem gezeigten Beschleunigungssensor entstehen die verwendeten elektrischen Signale je Halbbogen 2a im Bereich der Ankerpunkte 3 im Mesabereich 9 bzw. im entsprechenden Übergangsbereich von freistehend nach fest, da nur im Bereich 9 eine Mesa besteht und da nur hier die Metallisierung unterbrochen ist. Im übrigen Bereich des freistehenden Balkens 2a sowie des fest auf dem Substrat angeordneten Abschnitts 2b der homogenen Halbleiterschicht 2 verbleibt nur das Puffermaterial (GaN-Volumenmaterial). Signaländerungen im nicht dem Abschnitt 9 entsprechenden Bereich des freitragenden Abschnitts 2a (so im Abschnitt zwischen dem Bereich 9 und dem Übergangsbereich freistehend zu seismischer

5       Masse und im Bereich der seismischen Masse) werden in  
der vorstehend beschriebenen Konfiguration nicht ver-  
wendet, da eine vollständig geschlossene Metallisie-  
rung oben aufliegt. In dem Abschnitt 2b der homogenen  
Halbleiterschicht 2 entstehen keine Signale, da hier  
die homogene Halbleiterschicht 2 nicht verbogen wird.  
Wie bereits beschrieben, wird die Änderung des Wider-  
stands des Messstreifens der gezeigten Konfiguration  
mit Hilfe der Kontakte 5 über eine Wheatstone-  
10      Schaltung gemessen. In der gezeigten Konfiguration  
entspricht der Aufbau und die Wirkungsweise somit ei-  
ner Wheatstone-Brücke mit unbekannten Widerständen an  
den Ankerpunkten 3 (insgesamt vier Widerstände 9 in  
15      der gezeigten Konfiguration, vergleiche Figur 2a) und  
Widerständen 8a, 8b, welche ebenfalls unbekannt sind,  
jedoch identisch wie die Widerstände 9 ausgefertigt  
sind und somit einen identischen Widerstandswert auf-  
weisen. Die Widerstände 8a, 8b (insgesamt vier Stück,  
20      siehe Fig. 2a) sind somit vier gleiche freistehende  
Widerstände aus GaN-Balken mit Metallisierung in Pa-  
rallelschaltung, die nicht ausgelenkt werden. Bei  
Auslenkung der seismischen Masse 4 verändern sich die  
vier Widerstände 9 an den Punkten 3, die vier Wider-  
stände 8 jedoch nicht, so dass das Messsignal (bzw.  
25      der Strom) als Unterschied resultiert. Alle Störein-  
flüsse, wie beispielsweise Licht oder Temperatur,  
wirken gleichermaßen auf die Widerstände 9 wie auf  
die Widerstände 8, so dass dies nicht zu Signalunter-  
schieden führt, sondern nur eine echte Auslenkung der  
30      seismischen Masse 4. Optional (nicht gezeigt) können  
die Widerstände 8 und/oder 9 auch mit einem Gate  
(beispielsweise als Schottky-Kontakt) ausgeführt wer-  
den.

35      Einen weiteren Beschleunigungssensor zeigen Figuren  
2c und 2d. Der grundlegende Aufbau des in diesen Fi-

guren gezeigten Beschleunigungssensors entspricht zu-  
nächst demjenigen Beschleunigungssensor von Figur 2a  
und 2b. Unterschied ist, dass neben den vier Wider-  
ständen (hier: 9R1, 9R3, 9R5 und 9R7) an den Anker-  
5  
punkten 3 auch die Widerstände am Übergang von der  
seismischen Masse 4 zum freistehenden Balken 2a  
—(Übergangsbereich 7) mitbenutzt werden, um das bei  
einer Auslenkung der Masse 4 generierte Signal zu  
vergrößern (die Widerstände im Übergangsbereich 7  
10  
sind in der Figur mit den Bezugszeichen 9R2, 9R4, 9R6  
und 9R8 versehen). Der Übergangsbereich 7 wird bei  
Auslenkung der Masse 4 in die genau andere Richtung  
gekrümmt wie der Übergangsbereich an den Ankerpunkten  
15  
3, so dass hier ein gegenläufiger Effekt zu erwarten  
ist. In der Schaltung wird dies dadurch ausgenutzt,  
dass die Widerstände in der Wheatstone-Brücke elekt-  
risch so angeordnet werden, dass sich der Effekt sum-  
miert: Wird beispielsweise 9R1 nach unten (in die Pa-  
pierebene hinein) ausgelenkt, so wird 9R2 nach oben  
20  
ausgelenkt. Dies gilt dann ebenso für 9R7 (nach un-  
ten) und 9R8 (nach oben). Unter der Annahme, dass bei  
der beschriebenen Auslenkung 9R1 größer wird, gilt  
das Größerwerden auch für 9R7 (und 9R3 und 9R5), die  
Widerstände 9R2 und 9R8 (ebenso 9R4 und 9R6) werden  
25  
kleiner (entgegengesetzter Effekt). Da die Wider-  
standspaare 9R1 und 9R7 sowie 9R2 und 9R8 jedoch e-  
lektrisch in der Schaltung „über Kreuz“ angeordnet  
sind, addiert sich der Effekt und eine hohe Stromän-  
derung bzw. ein hohes Messsignal resultiert bei einer  
30  
Auslenkung im Vergleich zum nicht ausgelenkten Zu-  
stand. Das Prinzip der Schaltung ist noch einmal in  
Figur 2d dargestellt. Die Bezugszeichen 5a und 5b be-  
zeichnen hierbei die Kontakte, an die die zur Messung  
notwendige Eingangsspannung ( $U_{in}$ ) angelegt wird, die  
Bezugszeichen 5c und 5d die Kontakte, an denen bei  
35  
der Messung die Spannung bzw. der Strom abgegriffen.

wird. Bei der vorgestellten Schaltung müssen die Brücken vor Inbetriebnahme auf 0 geeicht werden, es wird hierzu beispielsweise der Strom an den Messpunkten 5c und 5d gemessen bei Speisung mit einer Spannung an den Kontakten 5b und 5a. Dies ergibt den Wert ohne Auslenkung. Alle Änderungen des Stromes ergeben sich dann bei Änderung der Auslenkung der Widerstände 9 und sind somit ein Maß für die Auslenkung, ohne die Widerstände 9 bzw. deren Wert genau zu kennen (wie sonst üblich einer Wheatstone-Schaltung). Optional können die Widerstände auch mit Gate (hier nicht dargestellt) ausgeführt werden. Störeinflüsse können über Referenzwiderstände, die nicht ausgelenkt werden (analog zu den Widerständen 8 in Figur 2b) herauskaliert werden. Macht man die Widerstände 9 einzeln elektrisch zugänglich bzw. löst man sie sozusagen elektrisch durch eine geeignete Beschaltung auf, d.h. misst man jeden einzelnen Widerstandswert der Widerstände 9, so ist es sogar möglich, die Richtung der Auslenkung der Masse 4 anzugeben (beispielsweise für die Lage eines Autos im Gelände), da sich keine symmetrische Auslenkung der Masse 4 mehr ergibt und somit die Widerstände 9 auch ortsabhängig ihren Wert verändern.

Die Figuren 2e und 2f zeigen einen weiteren Beschleunigungssensor in Form eines freistehenden Balkens. Dieser im folgenden beschriebene Sensor kann jedoch in analogem Aufbau auch als Sensor zum Nachweis anderer physikalischer Größen als der Beschleunigung verwendet werden. Der freistehende Balken 2a einer homogenen Halbleiterschicht 2 aus GaN weist eine rechteckförmige Mesa 9 bzw. eine entsprechende Erhebung 9 auf. Im Fall einer Heterostruktur aus AlGaN/GaN ist im Bereich 9 der Mesa eine AlGaN-Deckschicht auf der Pufferschicht aus GaN vorhanden. Die Kontaktierung

ist im gezeigten Fall als Vierpunkt-Struktur nach van der Pauw ausgeführt, d.h. die Mesa 9 ist an ihren vier Ecken über elektrische Leitungen 11 mit den Kontakten 5a bis 5d verbunden. Im Bereich oberhalb der 5 Trennlinie T (d.h. im Bereich  $T_0$ ) ist die homogene Halbleiterschicht 2 nicht freitragend, im Bereich unterhalb der Trennlinie T (Bereich  $T_0$ ) ist die homogene Halbleiterschicht 2 freitragend (Bereich 2a). Die Mesa 9 ist somit im Übergangsbereich freitragend – nicht freitragend angeordnet bzw. zum Teil auf der nicht freitragenden Seite der homogenen Halbleiterschicht 2 und zum Teil auf der freitragenden Seite (Bereich 2a der homogenen Halbleiterschicht) angeordnet. Beim dargestellten Beschleunigungssensor erfolgt 10 die Signalbestimmung mit Hilfe des Hall-Effektes.

Nach der Bestimmung der Schichtleitfähigkeit und des Hall-Widerstandes ist daraus die Ladungsträgerart, die Ladungsträgerdichte und die Ladungsträgerbeweglichkeit bestimmbar. Alternativ zu der Ausführung als 15 Vierpunkt-Struktur nach van der Pauw kann die Schaltung auch als Hallbar-Struktur ausgeführt sein. Die Kontakte 5a bis 5d sind Ohmsche Kontakte, die Zuleitungen 11 verlaufen auf dem GaN-Puffer.

25 Die Figuren 2g und 2h skizzieren eine alternative Ausführungsform der van der Pauw-Struktur zur Verwendung bei einer Hall-Effekt-Messmethode. Gezeigt sind eine rasterelektronenmikroskopische Aufsicht einer homogenen Halbleiterstrukturmembran 2 und vier Öffnungen 12a bis 12d für die Ätzung von oben sowie vier elektrischen Zuleitungen 13 und vier Ohmsche Kontakte 30 14 (die Zuleitungen 13 laufen von den Kontakten 14 in Richtung nach innen, d.h. zum Bereich der Öffnungen 12, spitz zu).

35 Nach erfolgter Ätzung entsteht im Bereich der Bildmitte (Bereich 2c) ein freistehender Membranabschnitt

2c, welcher beispielsweise durch eine mechanische Kraft oder durch einen Strömungsdruck ausgelenkt werden kann.

5 Figur 3a zeigt einen erfindungsgemäßen Drucksensor, der im wesentlichen dieselben Bauteile wie die bereits in den Figuren 1 und 2 beschriebenen Sensoren aufweist. Bei dem vorliegenden Drucksensor ist der freitragende, auslenkbare Teil 2a der homogenen Halbleiterschicht 2 aus GaN als kreisförmige Membran 2c ausgeformt. Im Bereich der Ankerpunkte 3 weist die Membran 2c zwei Mesen. bzw. Erhebungen 9a und 9b auf, bei denen auf der GaN-Schicht eine AlGaN-Schicht angeordnet ist. Die AlGaN/GaN-Heterostruktur besteht somit nur im Mesa- bzw. Widerstandsbereich 9. Besteht 10 ein Unterschied im Druck auf beiden Seiten der Membran 2c, so wölbt sich diese aus. Der darunterliegende, ausgeätzte Hohlraum 6 ist ebenfalls kreisförmig. Durch die Auswölbung wird die Membran 2c (freitragende Abschnitte 2a und nicht freitragende Abschnitte 2b 15 an der Substratkante 1a) an der Substratkante verspannt wodurch sich ihre Polarisation ändert: Im Heterostrukturkanal bzw. im Mesabereich 9a und 9b entsteht an der Grenzschicht zwischen der AlGaN- und der GaN-Schicht eine Ladungsträgerdichte bzw. -ansammlung, welche mit Hilfe der Kontakte 5 als Ausgangssignal abgeleitet wird. Die Kontakte 5 sind unmittelbar am Heterostrukturkanal der AlGaN/GaN-Schichtenfolge angeordnet. 20

25 Das Ausgangssignal bzw. dessen Änderung wird über die Widerstandsbalken bzw. die Mesabereiche 9a und 9b gemessen. Die Messung des Druckunterschieds zwischen Ober- und Unterseite der Membran 2c erfolgt somit über die Wölbung selber. Eine Temperaturabhängigkeit des Sensors wird über eine Verschaltung nach 30 Wheatstone erreicht. Für die richtige Funktion dieser 35

Wheatstone-Brücke sind zwei konstante Referenzwiderstände erforderlich. Diese Aufgabe erfüllen die beiden Widerstände 9c und 9d an den Ankerpunkten der beiden halbkreisförmigen Membranen 2d links und rechts von der Hauptmembran 2c. Wie bei der Membran 2c liegt bei den Membranen 2d nur im Widerstands- bzw. Mesabereich 9 eine Heterostruktur vor (sonst nur GaN-Puffer). Beide Membranen 2d haben Bereiche mit entferntem GaN-Puffer 2 (ganz links bzw. ganz rechts, 6a und 6b), wodurch sich keine Druckdifferenz und somit keine Verspannung in den Membranen 2d ausbilden kann. Dadurch bleiben beide Widerstände 9c und 9d druckunabhängig, nicht jedoch temperaturunabhängig, was die Verschaltung gegen thermische Einflüsse unempfindlich macht. Der Grund für die runde Form der Membranen ist geometrisch bedingt, da so die Verspannung an der gesamten Substratkante 1a gleich ist und die Membran 2c somit ihre größte Stabilität erhält. Das hier verwendete optionale, vorzugsweise als Schottky-Kontakt ausgeführte Gate (in der Figur unten links, 10) dient zur Arbeitspunkteinstellung. Die Funktionsweise der Schaltung des in Figur 3a dargestellten Drucksensors ist identisch mit der Funktionsweise der Schaltung für die in Figur 2a bis 2d beschriebenen Beschleunigungssensoren: Es werden vier Widerstände 9a bis 9d verwendet, davon die zwei Widerstände 9a und 9b auf einer Druckdose bzw. Membran 2c und zwei Widerstände 9c und 9d auf den halbkreisförmigen Membranen 2d. Wie bereits beschrieben ist bei Über- oder Unterdruck oberhalb der Membran 2c im Vergleich zum unter der Druckdose bzw. Membran 2c eingeschlossenen Gasvolumen die Membran 2c auslenkbar. Durch die Bereiche mit entferntem GaN-Puffer (6a und 6b) existiert an den Membranen 2d kein geschlossenes Gasvolumen, die Membranen 2d sind also nicht auslenkbar und die Widerstände 9c und 9d dienen als

Referenzwiderstände. Bei einer Druckänderung werden daher die beiden Widerstände 9a und 9b auf der Dose 2c geändert, die beiden Referenzwiderstände 9c und 9d jedoch nicht. Durch die Wheatstone-Beschaltung der 5 vier Widerstände 9a bis 9d kann wieder eine Stromänderung (und diese wiederum unabhängig von Störungen, wie beispielsweise durch die Temperatur, da diese Störungen auf alle vier Widerstände gleich wirken, und die beiden Referenzwiderstände 9c und 9d nicht ausgelenkt werden) gemessen werden, wiederum ohne den Wert der Widerstände 9 wirklich kennen zu müssen. Die 10 wirksamen Widerstände 9a bis 9d befinden sich auch hier wieder am Übergangsbereich 3 des nicht freistehenden Halbleiters 2b zum freistehenden 2a und sind, wie bereits beschrieben, in Form einer Mesa ausgeführt, d.h. die Membranen 2c und 2d selbst sind auch hier nur GaN-Puffer. Im Unterschied zu der in den Figuren 2a bis 2d verwendeten Wheatstone-Schaltung ist die Breite b der Widerstände 9a und 9b wesentlich höher, um einen höheren Effekt zu erhalten (höherer 15 Strom, da hier sozusagen eine Parallelschaltung einzelner Sensorelemente entlang der Richtung b eines Widerstands 9 vorliegt). Die Verwendung solch breiter Widerstände ist bei einem Beschleunigungssensor nicht 20 gut möglich, da dieser ansonsten zu wenig Bewegungsmöglichkeiten hat. Alternativ zu der dargestellten Ausführungsform mit Gate 10 sind auch andere Ausführungsformen ohne Gate möglich. Als Membranformen können auch andere als kreisförmige bzw. halbkreisförmige (z.B. rechteckige oder quadratische Flächen) verwendet werden. Die Figur 3b zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der freigeätzten Hohlräume 2dI und 2cI, welche für die Dose 2c bzw. die Referenzmembranen 2d verwendet werden.

zur Herstellung einer aktiven, freitragenden homogenen Halbleiterschicht in Form eines Balkens verwendeten Probe. Basis der Probe bildet ein etwa 300  $\mu\text{m}$  dicker Siliziumsubstrat 1. Auf diesem Siliziumsubstrat ist eine etwa 1,7  $\mu\text{m}$  dicke homogene Halbleiterschicht aus GaN 2f aufgebracht. Wiederum auf dieser Schicht 2f aufgebracht ist eine Deckschicht 2e (Dicke etwa 20 nm) aus  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ . Aus der gezeigten Probe ist also ein Heterostruktur-Sensorelement herstellbar.

Figur 5 zeigt einen wesentlichen Schritt, das Unterätzen der Balkenstruktur, bei der Herstellung eines erfindungsgemäßen Heterostruktur-Sensorelements schematisch. Anhand von Figur 5 seien zunächst auch die anderen Schritte des Halbleiterstrukturierungsverfahrens zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Sensor-Elementes erläutert. Zunächst wird aus dem Verbund aus homogener Halbleiterschicht 2f und Deckschicht 2e (GaN bzw.  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ ) eine Mesa einer gewünschten Grundfläche ausgeätzt, in dem die Heterostruktur 2e, 2f außerhalb der Grundfläche bis auf die Substratbasis 1 weggeätzt wird. Die zurückbleibende Mesa ist in Figur 5 rechts oben gezeigt (Abschnitt 2e, 2f). Die zu unterätzenden Bereiche (Mesabereich 2e, 2f rechts im Bild sowie Substratbereich links im Bild) werden durch eine Aluminiummaske 7 abgedeckt. Die abgedeckten Bereiche werden anschließend durch ein reaktives Ionenätzverfahren mit Unterstützung von Halogenen im Reaktionsgas geätzt: Das im Beispiel verwendete Trockenätzverfahren verwendet ein  $\text{CF}_4$ -Plasma, welches mit Sauerstoff angereichert ist. Die Ätzung erfolgt hierdurch durch einen mechanischen Anteil ( $\text{CF}_4/\text{O}_2$ ), welcher durch entsprechende Beschleunigung der Ionen zustandekommt, sowie einen chemischen Ätzanteil ( $\text{F}^-$ -Ionen).

Figur 6 zeigt den grundlegenden Aufbau eines freitragenden (d.h. einen nicht mit einem nichtmetallischen und nicht halbleitenden Material aufgefüllten Abstandsbereich  $d$  aufweisenden) Balkens bzw. einer freitragenden homogenen Halbleiterschicht 2f aus GaN auf einem Siliziumsubstrat 1, welcher bzw. welche mit Hilfe des anhand von Figur 5 beschriebenen Ätzprozesses hergestellt wurde. Der freitragende Balken 2f liegt am linken bzw. am rechten Ende auf dem Siliziumsubstrat 1 auf. In der Mitte zeigt das schematisch dargestellte Sensorelement einen Hohlraum 6 unterhalb der homogenen Halbleiterschicht 2f, welcher durch die in der Beschreibung von Figur 5 dargestellten Ätzprozesse erzeugt wurde. Die Tiefe der Kavität beträgt etwa  $d=150 \mu\text{m}$ . Direkt auf der Oberseite der freitragenden aktiven homogenen Halbleiterschicht 2f sind zwei Kontakte 5a (am linken Balkenende) und 5b (am rechten Balkenende) angebracht, mit welchen das bei Durchbiegung oder Auslenkung des Balkens 2f erzeugte elektrische Ausgangssignal abnehmbar bzw. ableitbar ist.

Figur 7 zeigt einen erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor im Schnitt. Die Schnittebene liegt hierbei senkrecht zur Substratoberfläche. Die Figur zeigt ein Siliziumsubstrat 1 mit einer Dicke von  $d_1=300 \mu\text{m}$ . Auf diesem Siliziumsubstrat 1 ist eine homogene GaN-Halbleiterschicht 2f angeordnet. Diese ist in der Mitte bzw. im Zentrum unterätzt, so dass in einem quaderförmigen Bereich (Hohlraum 6) unterhalb der Schicht 2f das Substrat 1 zumindest teilweise entfernt wurde: Im Randbereich des quaderförmigen Bereichs wurde das Substrat 1 komplett entfernt (so dass die Unterseite der Schicht 2f freiliegt), im Innenbereich des quaderförmigen Bereichs wurde das Substrat nicht vollständig entfernt, so dass ein mit der

Schicht 2f verbündener Substratrest verbleibt, welcher eine seismische Masse 4 bildet. In der dargestellten Struktur bildet die homogene GaN-Halbleiterschicht 2f somit einen freitragenden Haltebalken bzw. eine Membran aus, welcher bzw. welche zumindest an zwei Bereichen (seitlich links und rechts gezeigt) auf dem Substrat 1 aufliegt und an welchem bzw. welcher zentral mittig die seismische Masse 4 freihängend befestigt ist. Die seismische Masse 4 kann somit durch eine Beschleunigungseinwirkung nach oben bzw. nach unten ausgelenkt werden (Pfeile im Bild). Auf ihrer der Substratoberfläche abgewandten Oberfläche weist die homogene Halbleiterschicht 2f zwei Erhebungen bzw. zwei Mesabereiche auf. Jeder der Mesabereiche erstreckt sich hierbei in einer Richtung parallel zur Substratoberfläche (im Bild: von links nach rechts) bzw. parallel zur Oberfläche der homogenen Halbleiterschicht 2f von dem Bereich, wo die Schicht 2f von dem Substrat 1 unterstützt wird, über den Bereich, wo die Schicht 2f an ihrer Unterseite vom Substrat befreit wurde, bis in den Bereich, wo die seismische Masse 4 unterhalb der Schicht 2f angeordnet ist. Die Dicke der Schicht 2f beträgt außerhalb der Mesabereiche im gezeigten Fall  $d_2=1,7 \mu\text{m}$  (allgemein beträgt sie bevorzugt zwischen  $0,5 \mu\text{m}$  und  $3 \mu\text{m}$ ). Im Bereich der Mesen weist die Schicht 2f hier eine Dicke von  $1,93 \mu\text{m}$  auf (allgemein beträgt die zusätzliche Dicke der Schicht 2f im Mesabereich bevorzugt zwischen  $170 \text{ nm}$  und  $290 \text{ nm}$ ). Auf den Mesen der Schicht 2f ist eine Deckschicht 2e aus AlGaN aufgebracht, so dass sich im Mesabereich eine Heterostruktur ausbildet. Die Deckschicht 2e weist hier eine Dicke von  $20 \text{ nm}$  auf (allgemein beträgt die Dicke der Deckschicht bevorzugt zwischen  $10 \text{ nm}$  und  $30 \text{ nm}$ ), so dass sich eine Mesahöhe von  $d_3=250 \text{ nm}$  ergibt (ohne Kontakte 5, siehe später). Der dargestellte Beschleu-

nigungssensor weist somit eine erfindungsgemäße Heterostruktur auf. An der Grenzschicht zwischen der GaN-Schicht 2f und der AlGaN-Deckschicht 2e (also im Mesabereich) liegt der Heterostrukturkanal 2g. In jeder 5 Mesa sind unmittelbar an den Heterostrukturkanal 2g angrenzend zwei Kontaktbereiche angeordnet. Hierbei ist jeweils ein Kontaktbereich im nicht freitragenden Bereich (d.h. im Bereich oberhalb der Substratunterstützung 1) angeordnet und ein Kontaktbereich im 10 freitragenden Bereich (hier: oberhalb des Bereichs, wo die Substratschicht 1 unterhalb der Schicht 2f entfernt wurde und im Bereich der aufgehängten seismischen Masse 4). Jeder der vier dargestellten Kontaktbereiche besteht aus einem durch Legieren entstandenen Kontaktbereich zum Heterostrukturkanal 2g (bzw. zum Heterointerface) in den Halbleiterschichten 15 2e und 2f (dieser Bereich ist durch das Bezugszeichen 2h gekennzeichnet) und aus einem oberhalb des Kontaktbereichs 2h aufgebrachten metallischen Kontakt 5. Die Kontakte 5 sind mit elektrischen Zuleitungen 11 20 versehen. Wird durch Beschleunigungseinflüsse die seismische Masse 4 nach oben oder unten ausgelenkt, so entsteht in den Heterostrukturbereichen bzw. den Mesabereichen ein elektrisches Signal. Der Bereich, 25 in dem dieses Signal entsteht, ist durch das Bezugszeichen B gekennzeichnet. Das Signal wird dann durch die Kontaktbereiche 2h und die Kontakte 5a bis 5d sowie die elektrischen Zuleitungen 11 abgeführt. Dieses ist symbolisch durch die Stromflusslinie 15 gekennzeichnet. Die Kontaktbereiche sind somit unmittelbar 30 am Heterostrukturkanal 2g angeordnet. Entscheidend ist bei der beschriebenen Konfiguration, dass in jedem Widerstands- bzw. Mesabereich ein Kontakt in einem feststehenden Bereich der Heterostruktur bzw. der Schichten 2e und 2f angeordnet ist (d.h. in einen Bereich, wo die Heterostruktur bzw. die Schicht 2f vom 35

Siliziumsubstrat 1 unterstützt ist) und dass der andere Kontakt eines jeden Widerstands- bzw. Mesabereichs im freischwebenden Membranbereich bzw. Haltebalkenbereich liegt. Im dargestellten Fall ist der  
5 Übergang von fest nach frei etwa in der Mitte unterhalb des Mesabereichs. Beim vorstehenden Aufbau wird somit gezielt nur in einem definierten Längenstück  
10 eine Mesa definiert, somit trägt auch nur eine in diesem Längenstück auftretende Krümmung zum entstehenden Messsignal bei. Die Mesabereiche werden vor teilhafterweise im Bereich der größten auftretenden Krümmungen bei Auslenkung angeordnet. Gegenüber einer Anordnung, bei welcher beispielsweise zwei Kontakte im feststehenden Bereich (d.h. oberhalb des Silizium-  
15 substrats 1) angeordnet sind und durch ein geschlossenes Heterostrukturlängenstück, welches teilweise auf einer Membran verläuft, verbunden werden (wodurch die auftretenden Krümmungen zum Teil gegenläufig sind) hat die vorliegende Anordnung den Vorteil, dass  
20 nicht mit einem durch die gegenläufigen Krümmungen verursachten, extrem geringen resultierenden Signal anteil zu rechnen ist, sondern mit einem deutlich höheren Signalanteil. Im gezeigten Fall tragen also  
25 nicht alle Längen bzw. Elemente eines elektrisch geschlossenen Pfades bzw. alle Krümmungen im Material bei Auslenkung der Membran bzw. des Balkens zum Signal bei. Bei erfindungsgemäßen Strukturen der gezeigten Anordnung gilt grundsätzlich, dass nur im Bereich der Mesa die Heterostruktur erhalten bleibt (dort  
30 liegt dann der nutzbare aktive Bereich des Halbleiters) und dass außerhalb der Mesa bzw. des entsprechenden Bereichs die Heterostruktur weggeätzt wird und nur noch eine homogene Schicht 2f als Restmembran bzw. Resthaltebalken verbleibt. Die Lage der Kontakte  
35 befindet sich hierbei vorteilhafterweise an den äußeren Kanten der Mesabereiche. Die im unteren Bereich

der Figur 7 dargestellte rasterelektronenmikroskopische Aufnahme zeigt eine Untenansicht des Siliziumsubstrates 1, aus dem der quaderförmige Bereich bereits ausgeätzt ist und somit die seismische Masse 4 zu erkennen ist. Der in Figur 7 dargestellte Sensor sowie alle anderen gezeigten Sensoren können auch in Formen ohne Heterostruktur (d.h. nur mit der homogenen Halbleiterschicht 2f) ausgeführt werden. Die Sensorfunktionalität wird dann durch geometrische Definition des Mesabereichs sichergestellt. Dies geschieht durch geeignete Ätzung. Die Mesa kann dann angepasste Ätztiefen (je nach Material) erhalten, um parasitäre Effekte aus dem angrenzenden, verbleibenden Membran-Material (Puffer bzw. Nicht-Mesabereich) zu unterbinden. Die Signal- bzw. Effektstärke verändert sich hierbei je nach Materialtyp, es steht zu vermuten, dass der Effekt bei Bulk-Material am größten ist.

Figur 8 zeigt erfindungsgemäße Sensorelemente in Form von freitragenden, einseitig bzw. mit einem Ankerpunkt befestigten Balken. Diese wurden mit Hilfe von an dem dem Ankerpunkt gegenüberliegenden Balkenende befestigten Opfermembranen erzeugt. In Figur 8a sind drei solcher erfindungsgemäßen Balken mit freitragendem Balkenende 2a, welches zunächst mit einer Opfermembran 2k über eine Sollbruchstelle 2l verbunden ist, gezeigt. Weiter gezeigt sind vier elektrische Kontakte 5a bis 5d, welche über elektrische Zuleitungen 11 mit einer Mesa 9 verbunden sind, welche wie bereits beschrieben, teilweise oberhalb des freistehenden Bereiches und teilweise oberhalb des feststehenden Bereiches der Halbleiterstrukturschicht 2 angeordnet ist. Die gezeigte Halbleiterstruktur wird wie folgt hergestellt: Die Mesa 9 (bestehend aus einem Anteil der GaN-Schicht 2f und aus einem Anteil

der AlGaN-Deckschicht 2e) wird durch eine erste Ätzung hergestellt. Die Heterostruktur bleibt also nur im Bereich 9 vollständig erhalten (aktiver, stromdurchflossener Bereich). Die Tiefe bei der ersten Ätzung ist im Bereich von 200 nm bis 500 nm. In einem zweiten Ätzschritt wird dann außerhalb der Mesa 9 der Bereich 2f-T ausgeätzt, welcher die Balkenstruktur bzw. die freitragende Balkenstruktur 2a selbst definiert (dabei wird das GaN von oben komplett bis auf das Substrat 1 weggeätzt). Diese Art der Strukturierung der GaN-Schichten wird bevorzugt angewendet, wenn die Ätzung des Hohlraums 6 von oben erfolgt. Wird die Ätzung des Hohlraums 6 von der Rückseite her durchgeführt (im Bild gekennzeichnet durch das Bezugssymbol RA) wie es im Falle der Verwendung des ICP-Standardverfahrens bei Siliziumsubstraten der Fall ist, so reicht eine Ätzung von oben in Form der Tiefenätzung (etwa bei Balken bzw. zur Definition der Balkenstruktur, die teilweise auch als „tiefe Mesa“ bezeichnet wird), um diese Geometrie zu definieren, es kann aber auch die beschriebene Ätzung in zwei Schritten angewandt werden. Im dargestellten Fall ist die Schaltung mit Gates 10 ausgeführt. Die dargestellten Sensorelemente wurden durch trockenchemisches Ätzen mit dem Reaktionsgas  $CF_4$  unter Sauerstoffzugabe von der Oberseite eines [111]-Siliziumsubstrats hergestellt. Die [111]-Oberfläche des Siliziumsubstrats wird wegen des hexagonalen Gitteraufbaus der Gruppe III-Nitride verwendet. Die Ätzung geht grundsätzlich von der Rückseite und von der Oberseite. Für das Ätzen von der Rückseite können Standardverfahren (ICP, Bosch-Prozess) eingesetzt werden. Die Ätzung der Rückseite kann auch mit dem RIE-Verfahren (Reactive Ion Etch) erfolgen. Die Ätzung der Oberseite erfolgt bevorzugt mit dem RIE-Verfahren. Wird wie beschrieben eine Opfermembran 2k

mit Sollbruchstelle 21 verwendet, ist es möglich, sehr lange und sehr schmale Balken zu erzeugen, beispielsweise Balken mit nur 1  $\mu\text{m}$  Breite, aber 100  $\mu\text{m}$  Länge.. Dies gelingt, indem man an das später freistehende Balkenende 2a die Opfermembran 2k anbringt, die erst nach der Ätzung vom eigentlichen Balken 2a getrennt wird (durch mechanischen Druck auf die Membran, die dann auf der Sollbruchstelle 2k bricht). Figur 8b zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme, in der zwei Balken 2a, die noch über die Sollbruchstelle 21 mit der Opfermembran 2k verbunden sind; zu sehen sind. Figur 8c zeigt drei schmale Balken (freistehend) 2a1, 2a2 und 2a3, welche wie beschrieben hergestellt wurden. Der oberste Balken 2a1 weist eine Länge von 100  $\mu\text{m}$  bei einer Breite von 1  $\mu\text{m}$  auf.

## Patentansprüche

5        1. Halbleitersensorelement mit  
             einer Substratbasis (1),  
             einer auf oder an der Substratbasis (1) angeord-  
             neten, homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) wel-  
             che Halbleiterverbindungen auf Basis von Nitri-  
10       den von Hauptgruppe-III-Elementen enthält oder  
             daraus besteht,  
             wobei die der Substratbasis (1) zugewandte Ober-  
             fläche der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f)  
             zumindest teilweise nicht direkt an die Sub-  
             stratbasis (1) angrenzt bzw. einen Abstand zu  
15       der der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) zu-  
             gewandten Oberfläche der Substratbasis (1) auf-  
             weist  
             dadurch gekennzeichnet, dass  
20       mindestens zwei elektrische Ableitungskontakte  
             (5) zur Ableitung eines durch die homogene Halb-  
             leiterschicht (2, 2f) aufgrund einer Änderung  
             einer mit Hilfe des Halbleitersensorelements zu  
             bestimmenden physikalischen Größe in der Halb-  
25       leiterschicht (2, 2f) erzeugbaren elektrischen  
             Ausgangssignals auf, an und/oder unter der homo-  
             genen Halbleiterschicht (2, 2f) angeordnet sind  
             oder in diese integriert sind.  
             2. Halbleitersensorelement nach dem vorhergehenden  
30       Anspruch,  
             dadurch gekennzeichnet, dass

mindestens einer der Kontakte (5) im Bereich des nicht direkt an die Substratbasis (1) angrenzenden bzw. einen Abstand zu der Oberfläche der Substratbasis (1) aufweisenden Bereichs (2a) (Abstandsbereich) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) angeordnet ist und dass mindestens einer der Kontakte (5) im Bereich eines in einem direkt an die Substratbasis (1) angrenzenden bzw. keinen Abstand zu der Oberfläche der Substratbasis (1) aufweisenden Bereichs (2b) (Nicht-Abstandsbereich) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) angeordnet ist.

3. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

die homogene Halbleiterschicht (2, 2f) einen Erhebungsbereich bzw. Mesabereich (9) aufweist, welcher in Richtung senkrecht zu der der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) zugewandten Oberfläche der Substratbasis (1) eine größere Dicke aufweist als ein an diesen Bereich (9) in einer Richtung parallel zu der der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) zugewandten Oberfläche der Substratbasis (1) angrenzender Bereich (Nicht-Mesabereich) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f).

4. Halbleitersensorelement nach dem vorhergehenden Anspruch,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Erhebungsbereich bzw. Mesabereich (9) so angeordnet ist, dass er sich in einer Richtung parallel zu der der homogenen Halbleiterschicht

5 (2, 2f) zugewandten Oberfläche der Substratbasis (1) teilweise über den Abstandsbereich (2a) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) erstreckt und dass er sich teilweise über den Nicht-Abstandsbereich (2b) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) erstreckt.

10 5. Halbleitersensorelement nach dem vorhergehenden Anspruch,

15 dadurch gekennzeichnet, dass

10 der Übergang vom Abstandsbereich (2a) zum Nicht-Abstandsbereich (2b) in der Richtung parallel zu der der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) zugewandten Oberfläche der Substratbasis (1) im Bereich der Mitte des Erhebungsbereichs bzw. Mesabereichs (9) erfolgt.

15 6. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 3 bis 5,

20 dadurch gekennzeichnet, dass

20 mindestens einer der Kontakte (5) unmittelbar an und/oder im Bereich einer äußeren Kante des Erhebungsbereichs bzw. Mesabereichs (9) angeordnet ist.

25 7. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 3 bis 6,

25 dadurch gekennzeichnet, dass

25 die homogene Halbleiterschicht (2, 2f) im Nicht-Mesabereich in Richtung senkrecht zu der der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) zugewandten Oberfläche der Substratbasis (1) eine Dicke von über 0.2 µm und/oder unter 50 µm, insbesondere

von über 0,5 µm und/oder unter 5 µm aufweist, und/oder dass die homogene Halbleiterschicht (2, 2f) im Erhebungsbereich bzw. Mesabereich (9) die Dicke des Nicht-Mesabereichs und zusätzlich eine Dicke von über 20 nm und/oder unter 1000 nm, insbesondere von über 50 nm und/oder unter 300 nm, aufweist.

5 8. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

10 dadurch gekennzeichnet, dass

die Substratbasis (1) Silizium Si enthält oder daraus besteht.

9. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

15 dadurch gekennzeichnet, dass

die homogene Halbleiterschicht (2, 2f) Halbleiterstrukturen auf Hauptgruppe-III-Nitridbasis in Form von  $Al_xGa_{1-x}N$  oder  $In_xGa_{1-x}N$  oder  $In_xAl_{1-x}N$  mit einem relativen Elementgehalt von  $0 \leq x \leq 1.0$  enthält oder daraus besteht.

20

10. Halbleitersensorelement nach dem vorhergehenden Anspruch,

dadurch gekennzeichnet, dass

die homogene Halbleiterschicht (2, 2f) GaN enthält oder daraus besteht.

25

11. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

5 ein durch den Abstand zwischen der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) und der Substratbasis (1) bzw. zwischen ihren sich zugewandten Oberflächen vorhandener Raumbereich nicht ausgefüllt ist, so dass die Halbleiterschicht (2, 2f) in Bezug auf die Substratbasis zumindest teilweise freitragend ist.

10 12. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10,

dadurch gekennzeichnet, dass

15 ein durch den Abstand zwischen der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) und der Substratbasis (1) bzw. zwischen ihren sich zugewandten Oberflächen vorhandener Raumbereich mit einem nicht-metallischen und nicht-halbleitenden Material zumindest teilweise ausgefüllt ist.

20 13. Halbleitersensorelement nach dem vorhergehenden Anspruch,

dadurch gekennzeichnet, dass

25 mit Hilfe des Materials die Wärmetransporteigenschaften und/oder die mechanischen Eigenschaften und/oder die Hochfrequenzeigenschaften des Sensorselements verbesserbar sind.

14. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 12 bis 13,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Material  $\text{SiO}_2$  und/oder  $\text{Si}_x\text{N}_y$  (insbesondere  $\text{SiN}$ ) und/oder Diamant und/oder DLC (diamond-like carbon) und/oder silikonartige Füllmaterialien

und/oder  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und/oder thermisch leitfähige Kunststoffe enthält oder daraus besteht.

15. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 *dadurch gekennzeichnet, dass*

die homogene Halbleiterschicht (2, 2f) undotiert oder p-dotiert oder n-dotiert ist.

16. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

10 *dadurch gekennzeichnet, dass*

die Ausdehnung der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zu ihrer der Substratbasis (1) zugewandten Oberfläche über  $0.2 \mu\text{m}$  und/oder unter  $50 \mu\text{m}$ , insbesondere über  $0.5 \mu\text{m}$  und/oder unter  $5 \mu\text{m}$ , beträgt.

15. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

20 *dadurch gekennzeichnet, dass*

auf oder an der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) auf deren substratbasisabgewandter Seite zumindest teilweise eine  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  oder  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  oder  $\text{In}_y\text{Al}_{1-y}\text{N}$  mit einem relativen Elementgehalt von  $0 <= y <= 1.0$  aufweisende Deckschicht (2e) angeordnet ist zur Ausbildung einer Heterostruktur von Halbleiterverbindungen auf Basis von Nitriden von Hauptgruppe-III-Elementen.

18. Halbleitersensorelement nach dem vorhergehenden Anspruch und nach einem der Ansprüche 3 bis 7,

dadurch gekennzeichnet, dass

5 die Deckschicht (2e) nur auf oder an dem Erhebungsbereich bzw. Mesabereich (9) angeordnet ist, nicht jedoch im Nicht-Mesabereich.

19. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 17 oder 18,

10 dadurch gekennzeichnet, dass

die Deckschicht (2e) aus AlGaN besteht, insbesondere mit  $0.1 \leq y \leq 0.3$ , besonders bevorzugt mit  $0.15 \leq y \leq 0.25$ .

20. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 17 bis 19,

15 dadurch gekennzeichnet, dass

die Deckschicht (2e) mechanisch verspannt ist und/oder dass die Ausdehnung der Deckschicht (2e) in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zu ihrer der Substratbasis (1) zugewandten Oberfläche im Bereich von über 5 nm und/oder unter 1000 nm, insbesondere im Bereich von über 10 nm und/oder unter 200 nm liegt.

21. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 17 bis 20

25 dadurch gekennzeichnet, dass

die Deckschicht (2e) undotiert oder p-dotiert oder n-dotiert ist.

22. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche  
17 bis 21

dadurch gekennzeichnet, dass

auf oder an der Deckschicht (2e) auf deren substratbasisabgewandter Seite mindestens eine weitere  $Al_zGa_{1-z}N$  oder  $In_zGa_{1-z}N$  oder  $In_zAl_{1-z}N$  mit einem relativen Elementgehalt von  $0 \leq z \leq 1.0$  aufweisende homogenen Halbleiterschicht angeordnet ist.

10 23. Halbleitersensorelement nach dem vorhergehenden Anspruch

dadurch gekennzeichnet, dass

die weitere Halbleiterschicht undotiert oder p-dotiert oder n-dotiert ist.

15 24. Halbleitersensorelement nach Anspruch 15 oder 21 oder dem vorhergehenden Anspruch,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Dotierstoffgehalt größer 0 Atome pro  $cm^3$  und/oder kleiner  $10^{20}$  Atome pro  $cm^3$  beträgt und/oder dass der Dotierstoff Silizium Si und/oder Magnesium Mg enthält oder daraus besteht und/oder dass eine dotierte Schicht mindestens eine Volumendotierung und/oder mindestens eine Pulsdotierung aufweist.

25 25. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

die elektrischen Ableitungskontakte (5) p- und/oder n-Kontakte sind.

26. Halbleitersensorelement nach dem vorhergehenden Anspruch,

dadurch gekennzeichnet, dass

5 ein n-Kontakt Al und/oder Ti enthält oder daraus besteht, wobei die Dicke des Kontakts bis zu 1000 nm, insbesondere bevorzugt bis zu 200 nm, beträgt.

27. Halbleitersensorelement nach Anspruch 25 oder 26,

10 dadurch gekennzeichnet, dass

ein p-Kontakt eine Schichtenfolge aufweist in der nachstehend genannten Reihenfolge: eine Au-Schicht, eine Ni-Schicht und eine Au-Schicht, wobei die Dicke jeder der Schichten bevorzugt bis zu 1000 nm, insbesondere bevorzugt bis zu 200 nm, beträgt.

15 28. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 17 bis 27,

dadurch gekennzeichnet, dass

20 die elektrischen Ableitungskontakte (5) so angeordnet sind, dass mit ihrer Hilfe ein im Übergangsbereich zwischen der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) und der Deckschicht (2e) entstandenes elektrisches Ausgangssignal ableitbar ist und/oder dass die elektrischen Ableitungskontakte (5) unmittelbar an der Grenzfläche zwischen der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) und der Deckschicht (2e) angeordnet sind.

29. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

5 die elektrischen Ableitungskontakte (5) eine Metallisierung aufweisen.

30. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

10 die zu bestimmende physikalische Größe der Druck, die Temperatur, eine Kraft, eine Auslenkung und/oder eine Beschleunigung ist.

31. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

15 dadurch gekennzeichnet, dass

20 die Änderung der zu bestimmenden physikalischen Größe durch die homogene Halbleiterschicht (2, 2f) über eine Änderung des räumlichen Zustands, der Form, des Volumens, der Struktur einer Oberfläche und/oder einer Auslenkung oder Auswölbung in Bezug auf die Substratbasis (1) der Halbleiterschicht (2, 2f) unmittelbar in das elektrische Ausgangssignal umsetzbar ist.

25 32. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Ausgangssignal durch piezoelektrische Eigenschaften oder mechanische Veränderungen im Git-

5 ter der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) generierbar ist oder eine Ladungsträgerdichteänderung an einer Oberfläche der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) oder eine andere elektrische Größe, insbesondere einen Strom, eine Spannung oder einen elektrischen Widerstand darstellt.

33. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

10 die homogene Halbleiterschicht (2, 2f) an mindestens einem Ankerpunkt (3) so mit der Substratbasis (1) verbunden ist bzw. über mindestens eine Grenzfläche zur Substratbasis (1) so an die Substratbasis (1) angrenzt, dass zumindest ein Teil (2a) des nicht an dem Ankerpunkt (3) verbundenen bzw. nicht an die Substratbasis (1) angrenzenden Teils der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) in Bezug auf die Substratbasis (1) durch eine Änderung der zu bestimmenden physikalischen Größe in Bezug auf die Substratbasis (1) unmittelbar auslenkbar ist.

15 20 25 30 34. Halbleitersensorelement nach dem vorhergehenden Anspruch,

dadurch gekennzeichnet, dass

mindestens zwei Ankerpunkte (3) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) eine Verbindung in Form eines in Bezug auf die Substratbasis (1) nicht auslenkbaren bzw. eine Grenzfläche zur Substratbasis (1) aufweisenden Teils (2b) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) aufweisen.

35. Halbleitersensorelement nach Anspruch 33,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

5 ein auslenkbarer Teil (2a) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) mit der Substratbasis (1) über genau einen Ankerpunkt (3) so verbunden ist, dass dieser auslenkbare Teil (2a) ein im wesentlichen geradliniger Balken ist, wobei der Ankerpunkt (3) an einem der Enden des Balkens angeordnet ist.

10

36. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 33 oder 34,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

15 ein auslenkbarer Teil (2a) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) mit der Substratbasis (1) über zwei Ankerpunkte (3) so verbunden ist, dass dieser auslenkbare Teil (2a) ein im wesentlichen geradliniger Balken ist, wobei die beiden Ankerpunkte (3) an den beiden Enden des Balkens angeordnet sind.

20

37. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 33 oder 34,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

25 ein auslenkbarer Teil (2a) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) mit der Substratbasis (1) über zwei Ankerpunkte (3) so verbunden ist, dass dieser auslenkbare Teil (2a) ein im wesentlichen U-förmiger Balken ist, wobei die beiden Ankerpunkte (3) an den beiden Enden des U bzw. des Balkens angeordnet sind.

30

38. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 33 oder 34,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

5 ein auslenkbarer Teil (2a) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) mit der Substratbasis (1) über drei Ankerpunkte (3) so verbunden ist, dass dieser auslenkbare Teil (2a) ein im wesentlichen Y-förmiger Balken ist, wobei die drei Ankerpunkte (3) an den drei Enden des Y bzw. des Balkens 10 angeordnet sind.

39. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 33 oder 34,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

15 ein auslenkbarer Teil (2a) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) mit der Substratbasis (1) über vier Ankerpunkte (3) so verbunden ist, dass dieser auslenkbare Teil (2a) ein im wesentlichen X- oder H-förmiger Balken ist, wobei die vier Ankerpunkte (3) an den vier Enden des X oder H 20 bzw. des Balkens angeordnet sind.

40. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 33 oder 34,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

25 ein auslenkbarer Teil (2a) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) mit der Substratbasis (1) über eine Mehrzahl von Ankerpunkten (3) so verbunden ist, dass dieser auslenkbare Teil (2a) ein im wesentlichen doppelkammförmiger Balken ist, wobei die Ankerpunkte jeweils an Enden der Kammzinken bzw. an Enden des Balkens angeordnet 30 sind.

41. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche  
35 bis 40,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

5 die minimale Breite eines Balkens in einer im wesentlichen senkrecht zur Auslenkungsrichtung gegebenen Richtung über 20  $\mu\text{m}$  und/oder unter 200  $\mu\text{m}$  beträgt und/oder dass das arithmetische Mittel des Abstands von Ankerpunkten über 300  $\mu\text{m}$  und/oder unter 5000  $\mu\text{m}$  beträgt.

10 42. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche  
33 bis 40,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

15 ein auslenkbarer Teil (2a) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) als Membran (2c) so ausgeformt ist, dass durch einen Unterschied der physikalischen Größe, insbesondere des Druckes, auf beiden Seiten der Membran (2c) diese so auswölbbar ist, dass hierdurch in diesem auslenkbaren Teil (2a) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) und/oder in einem mit diesem verbundenen, in Bezug auf die Substratbasis (1) nicht auslenkbaren Teil (2b) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) das Ausgangssignal erzeugbar ist.

20 43. Halbleitersensorelement nach dem vorherigen Anspruch,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

25 die Membran (2c) im wesentlichen kreisförmig oder halbkreisförmig ist.

44. Halbleitersensorelement nach einem der vorherigen Ansprüche,  
gekennzeichnet durch  
5 mindestens zwei elektrisch verbundene homogene Halbleiterschichtelemente.
45. Halbleitersensorelement nach Anspruch 43 und 44,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
10 mindestens zwei halbkreisförmige Membran-Halbleiterschichtelemente (2d) mit einem kreisförmigen Membran-Halbleiterschichtelement (2c) so zusammengeschaltet sind, dass ein temperaturunabhängiger Drucksensor entsteht.
46. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche  
15 33 bis 43,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
an einem auslenkbaren Teil (2a) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) ein Festkörper (4) vorzugsweise hoher Dichte so angeordnet oder fixiert ist, dass der Festkörper (4) durch eine Änderung der zu bestimmenden physikalischen Größe in Bezug auf die Substratbasis (1) unmittelbar auslenkbar ist und hierdurch in diesem auslenkbaren Teil (2a) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) und/oder in einem mit diesem verbundenen, in Bezug auf die Substratbasis (1) nicht auslenkbaren Teil (2b) der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) das Ausgangssignal erzeugbar ist.  
20  
25

47. Halbleitersensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

5 das Sensorelement und/oder die homogene Halbleiterschicht (2, 2f) als funktionelle Einheit mit integrierten elektrischen oder elektronischen Schaltungen, die Halbleiterstrukturen auf Hauptgruppe-III-Nitridbasis aufweisen, ausgeführt ist.

10 48. Halbleitersensorelement nach dem vorhergehenden Anspruch,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

15 die Schaltungen Diodenstrukturen und/oder Transistorelemente und/oder Temperatursensorelemente aufweisen und/oder dass die Schaltungen Kompen-  
sationsschaltungen oder Verstärkerschaltungen, insbesondere zur Signalverstärkung sind.

20 49. Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 47 bis 48,

*dadurch gekennzeichnet, dass*

25 die Schaltungen Schottky-Kontakte aufweisen und/oder dass die Schaltungen als Wheatstonesche Brücke ausgeführt sind.

50. Messverfahren zur Bestimmung der Änderung einer physikalischen Größe,

25 wobei eine homogene Halbleiterschicht (2, 2f) welche Halbleiterverbindungen auf Basis von Nitriden von Hauptgruppe-III-Elementen enthält oder daraus besteht auf oder an einer Substratbasis

5 (1) so angeordnet wird, dass die der Substratbasis (1) zugewandte Oberfläche der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) zumindest teilweise nicht direkt an die Substratbasis (1) angrenzt bzw. einen Abstand zu der der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) zugewandten Oberfläche der Substratbasis (1) aufweist

dadurch gekennzeichnet, dass

10 durch die homogene Halbleiterschicht (2, 2f) aufgrund der Änderung der zu bestimmenden physikalischen Größe ein elektrisches Ausgangssignal erzeugt wird und dass dieses Ausgangssignal über mindestens zwei auf, an und/oder unter der homogenen Halbleiterschicht (2, 2f) angeordnete oder 15 in diese Halbleiterschicht (2, 2f) integrierte elektrische Ableitungskontakte (5) abgeleitet wird.

51. Messverfahren nach Anspruch 50,

dadurch gekennzeichnet, dass

20 ein Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 1 bis 49 verwendet wird.

52. Messverfahren nach Anspruch 50 oder 51,

dadurch gekennzeichnet, dass

25 die zu bestimmende physikalische Größe der Druck, die Temperatur, eine Kraft, eine Auslenkung und/oder eine Beschleunigung ist.

53. Halbleiterstrukturierungsverfahren zur Strukturierung einer Substratbasisschicht (1) sowie einer auf dieser Substratbasis (1) angeordneten

Halbleiterschichtenfolge auf Basis von Nitriden von Hauptgruppe-III-Elementen,

wobei die Halbleiterschichtenfolge auf ihrer der Substratbasis (1) abgewandten Oberfläche auf einer einer auszuätzenden Mesa entsprechenden 5 Grundfläche maskiert wird und

wobei die Halbleiterschichtenfolge außerhalb dieser Grundfläche bis auf die Substratbasis (1) weggeätzt wird und

10 dadurch gekennzeichnet, dass

eine mit der Substratbasis (1) verbundene, auf der der Substratbasis (1) zugewandten Grundfläche zumindest teilweise nicht direkt an die Substratbasis (1) angrenzende bzw. einen Abstand zu der ihr zugewandten Oberfläche der Substratbasis (1) aufweisende homogene Halbleiterschicht (2f) der Halbleiterschichtenfolge ausgeätzt wird, indem die der ausgeätzten Mesa der Halbleiterschichtenfolge entsprechende Grundfläche mit einer Ätzmaskierung so versehen wird, dass die Ätzmaskierung die Substratbasis (1) im direkt an den zu erzeugenden Abstandsbereich angrenzenden Bereich nicht abdeckt und indem die Substratbasis (1) sowohl in dem direkt an den Abstandsbereich angrenzenden Bereich, als auch im Abstandsbereich unterhalb der Ätzmaskierung und 15 der homogenen Halbleiterschicht (2f) weggeätzt wird bzw. die Ätzmaskierung und die homogene Halbleiterschicht (2f) im Abstandsbereich unter- 20 ätzt werden und dass

30 mindestens zwei elektrische Ableitungskontakte (5) bzw. eine elektrische Kontaktsschichten auf, an und/oder unter der homogenen Halbleiter-

schicht (2f) angeordnet oder in diese integriert werden.

54. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,

dadurch gekennzeichnet, dass

ein Halbleitersensorelement nach einem der Ansprüche 1 bis 49 hergestellt wird.

55. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 oder 54,

dadurch gekennzeichnet, dass

aus der Halbleiterschichtenfolge ein Erhebungsbereich bzw. Mesabereich (9) ausgeäzt wird.

56. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 bis 55,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Ätzen im Abstandsbereich und im direkt daran angrenzenden Bereich in Richtung von der Substratbasisschicht (1) zur Halbleiterschichtenfolge erfolgt.

20 57. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 bis 55,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Ätzen im Abstandsbereich und im direkt daran angrenzenden Bereich in Richtung von der Halbleiterschichtenfolge zur Substratbasisschicht (1) erfolgt.

58. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 bis 57,  
*dadurch gekennzeichnet, dass*  
die Substratbasis (1) Silizium Si enthält oder daraus besteht.
59. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,  
*dadurch gekennzeichnet, dass*  
die Oberfläche der Si-Substratbasisschicht (1) an der Grenze zur Halbleiterschichtenfolge eine [111]-Oberfläche ist.
- 10 60. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 bis 59,  
*dadurch gekennzeichnet, dass*  
die Halbleiterschichtenfolge mindestens eine Halbleiterstrukturen auf Hauptgruppe-III-Nitridbasis in Form von  $Al_xGa_{1-x}N$  oder  $In_xGa_{1-x}N$  oder  $In_xAl_{1-x}N$  mit einem relativen Elementgehalt von  $0 \leq x \leq 1.0$  enthaltende oder daraus bestehende Halbleiterschicht aufweist.
- 15 20 61. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 bis 60,  
*dadurch gekennzeichnet, dass*  
die Halbleiterschichtenfolge aus einer GaN enthaltenden oder daraus bestehenden homogenen Halbleiterschicht (2f) besteht.

62. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 bis 61,

dadurch gekennzeichnet, dass

5 die Halbleiterschichtenfolge aus einer GaN enthaltenden oder daraus bestehenden homogenen Halbleiterschicht (2f) und einer auf der substratbasisabgewandten Seite auf dieser Schicht (2f) angeordneten Deckschicht (2e) aus AlGaN besteht, insbesondere aus  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  mit  $0.1 \leq y \leq 0.3$ , insbesondere bevorzugt mit  $0.15 \leq y \leq 0.25$ .

10 63. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach dem vorherigen Anspruch und nach Anspruch 55,

15 dadurch gekennzeichnet, dass

die Halbleiterschichtenfolge so geätzt wird, dass die Deckschicht (2e) im Erhebungsbereich bzw. Mesabereich (9) verbleibt, nicht jedoch außerhalb davon.

20 64. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 bis 63,

dadurch gekennzeichnet, dass

25 der aufgrund des Abstands zwischen der Substratbasis (1) und der homogenen Halbleiterschicht (2f) vorhandene Raumbereich zumindest teilweise mit einem nicht-metallischen und nicht-halbleitenden Material ausgefüllt wird.

65. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 bis 64,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
5 mindestens eine Schicht der Halbleiterschichtenfolge p-dotiert oder n-dotiert wird.
66. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 bis 65,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
10 die Ätzmaskierung mit einer Aluminium enthaltenden oder daraus bestehenden Maske (7) erfolgt.
67. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 bis 66,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
15 im Abstandsbereich und im direkt daran angrenzenden Bereich mit einem chemisch unterstützten Trockenätzverfahren, insbesondere mit einem reaktiven Ionenätzverfahren mit Unterstützung von Halogenen im Reaktionsgas, geätzt wird.
- 20 68. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Halogene Chlor und/oder Fluor, insbesondere in Form eines CF<sub>4</sub>-Plasmas aufweisen.
- 25 69. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 67 oder 68,  
dadurch gekennzeichnet, dass

das Trockenätzverfahren unter Zugabe eines additiven Gases, insbesondere von Sauerstoff, durchgeführt wird.

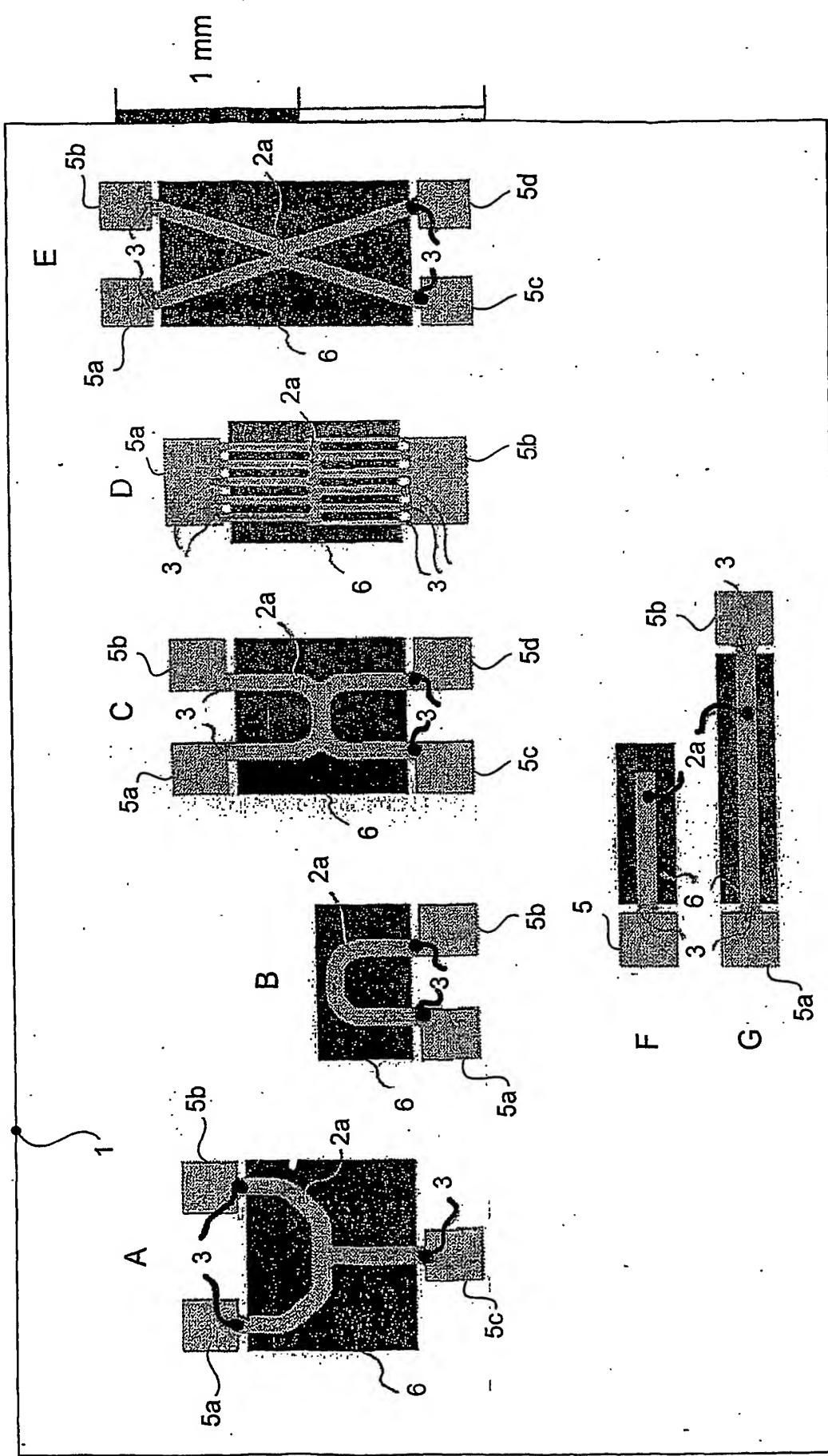
70. Halbleiterstrukturierungsverfahren nach einem der Ansprüche 53 bis 69,

dadurch gekennzeichnet, dass

als elektrische Ableitungskontakte (5) bzw. elektrische Kontaktschichten Ohm-Metallisierungen und/oder Schottky-Metallisierungen aufgebracht werden.

71. Verwendung eines Halbleitersensorelements nach einem der Ansprüche 1 bis 49 als Druck-, Temperatur-, Beschleunigungs- und/oder Kraftsensor oder zur Bestimmung der Größe einer Auslenkung oder eines Messverfahrens nach einem der Ansprüche 50 bis 52 zur Bestimmung eines Drucks, einer Temperatur, einer Kraft, einer Auslenkung und/oder einer Beschleunigung.

72. Verwendung nach dem vorhergehenden Anspruch im Bereich der Mikromechanik oder im Bereich von Hochtemperaturanwendungen oder im Automotive-Bereich.



**Fig. 1a**

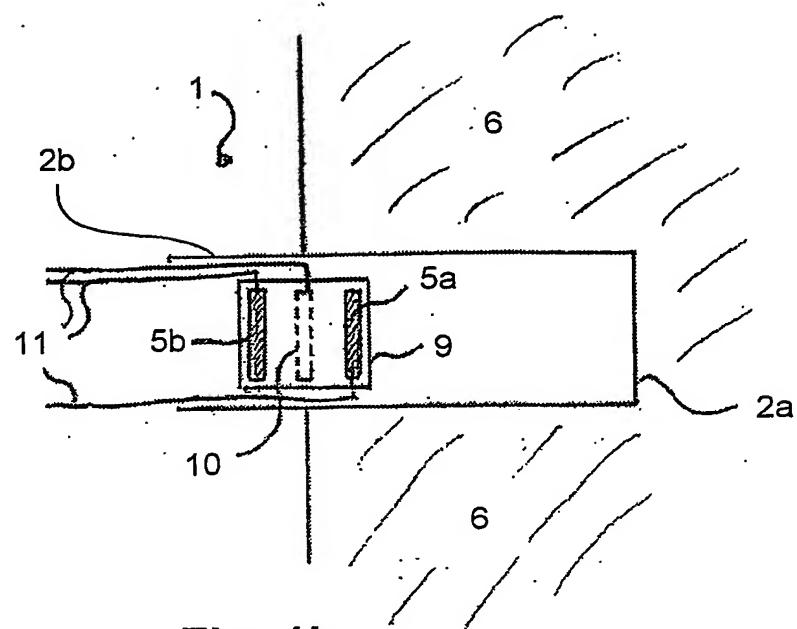


Fig. 1b

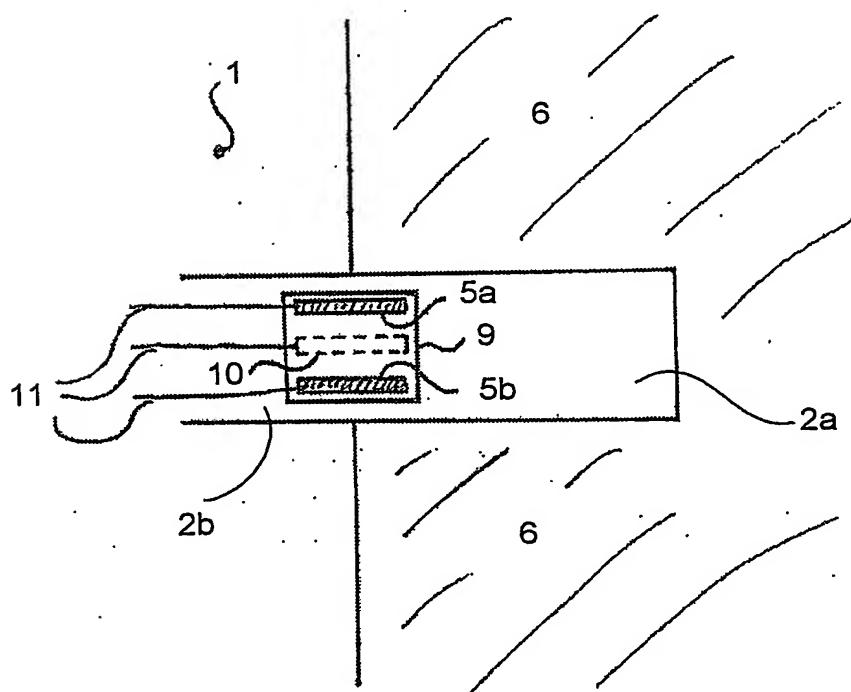


Fig. 1c

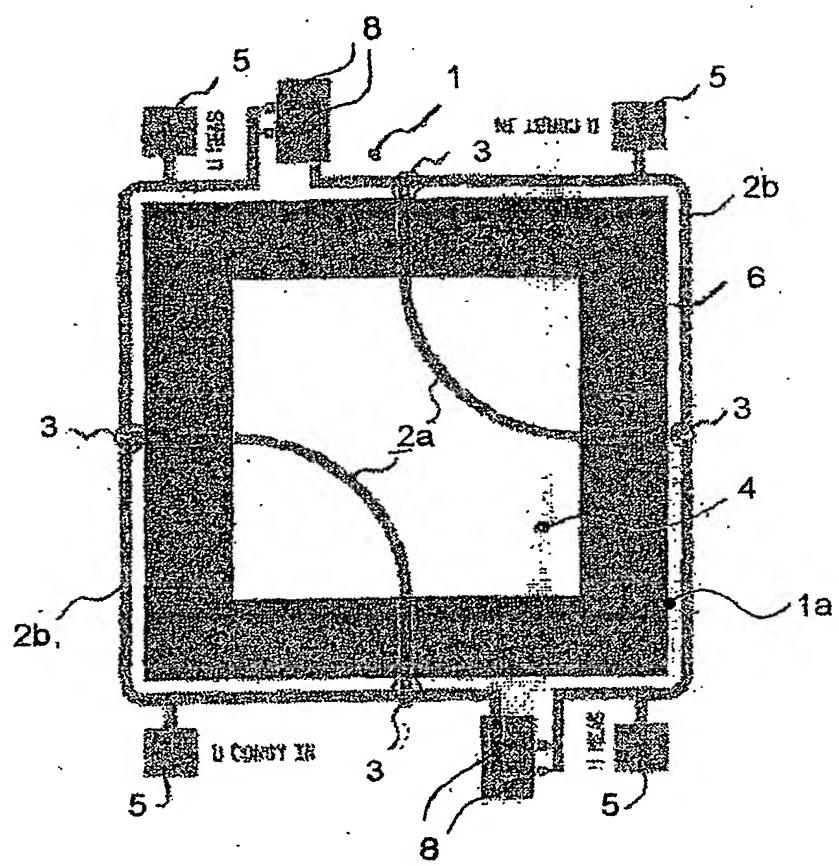
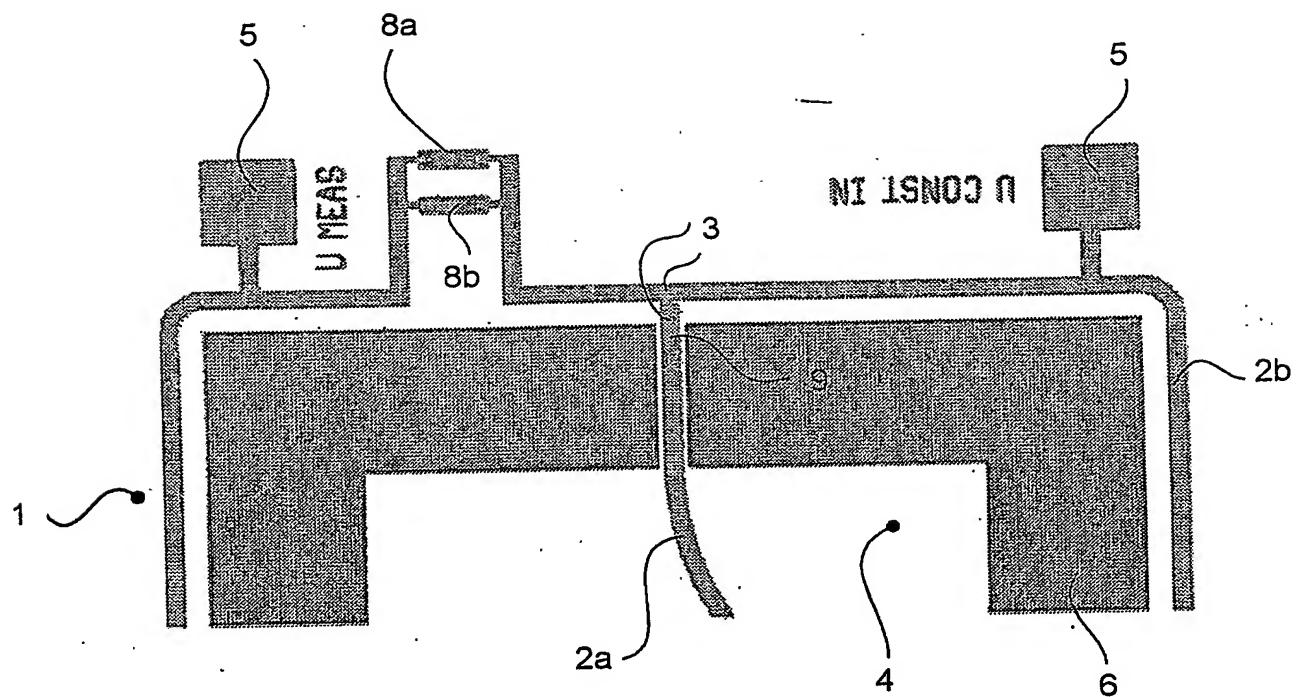
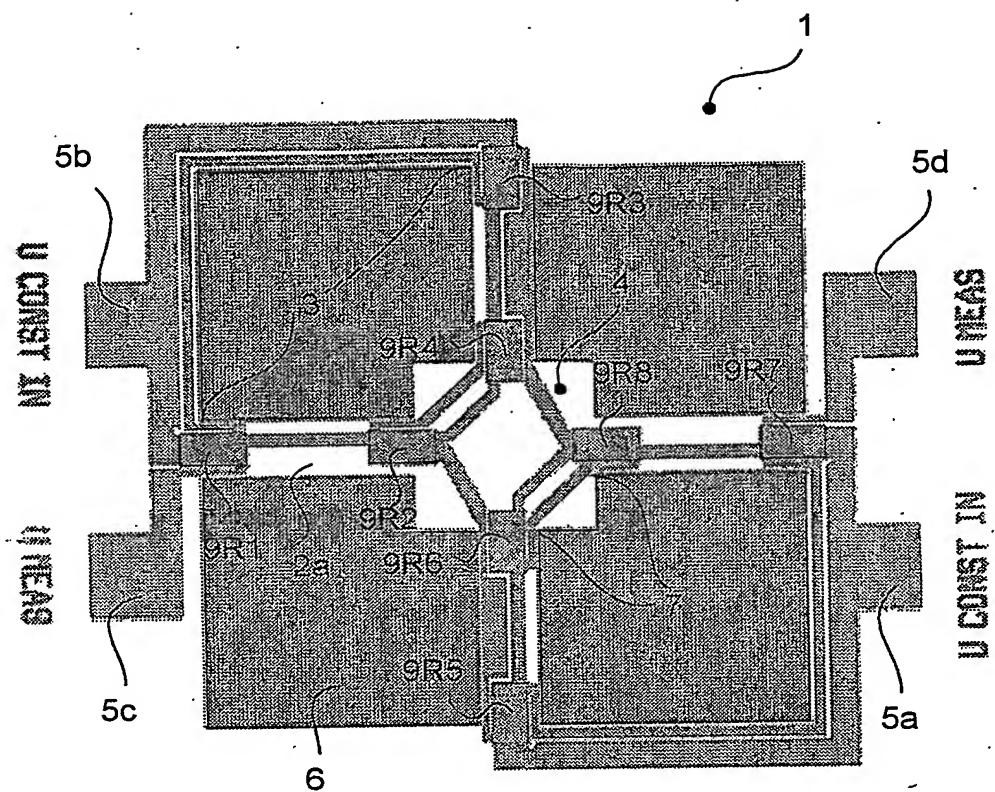


Fig. 2a

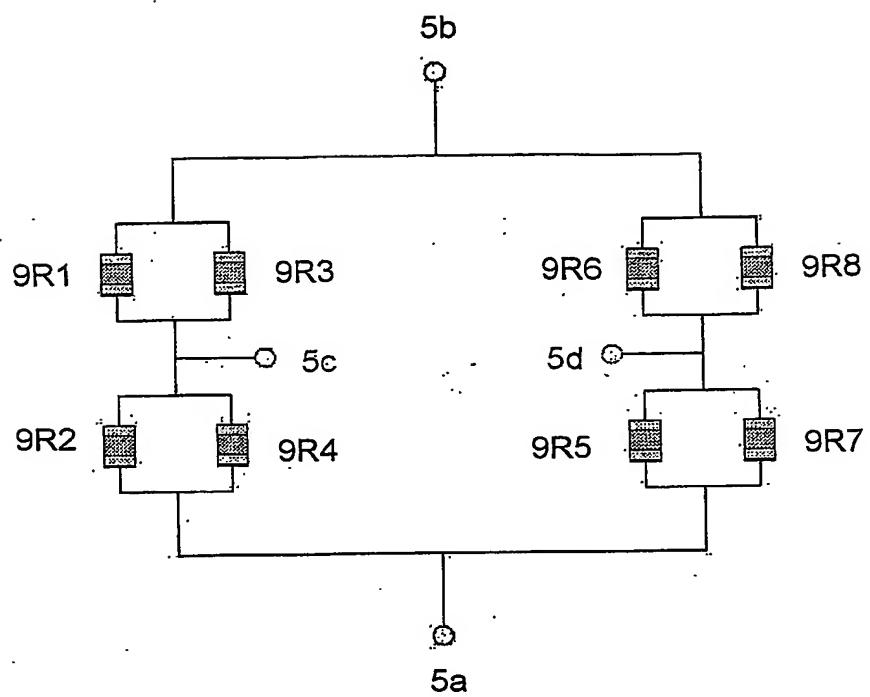


**Fig. 2b**

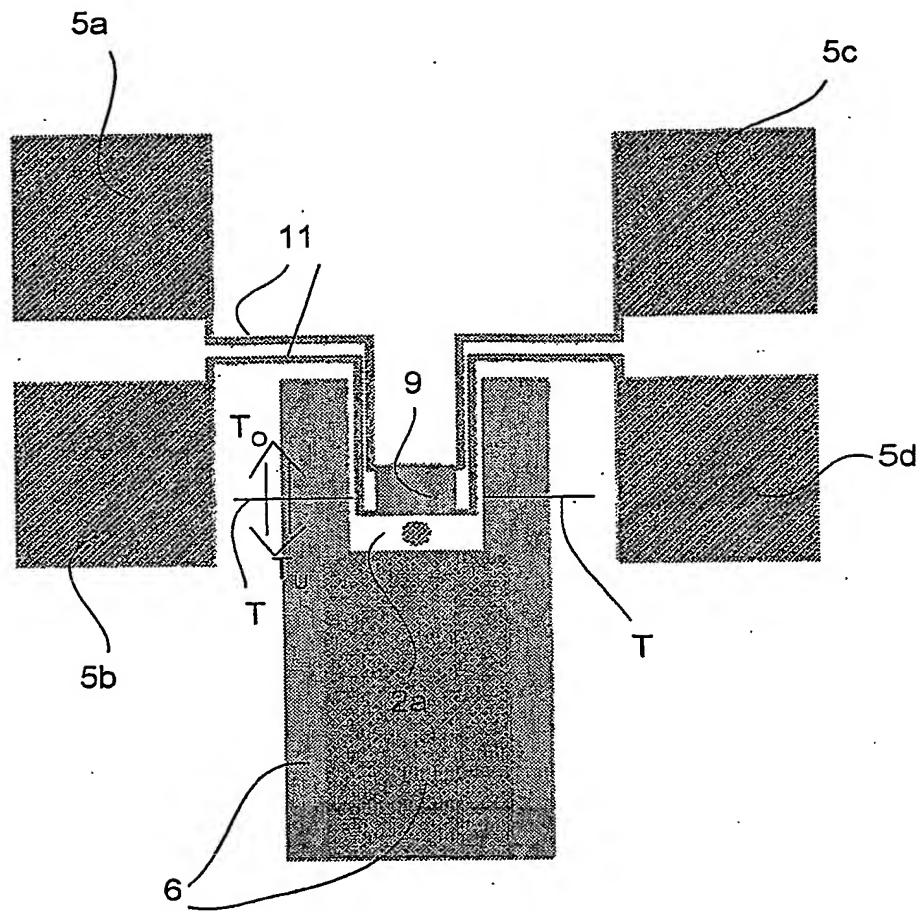
5/20



**Fig. 2c**

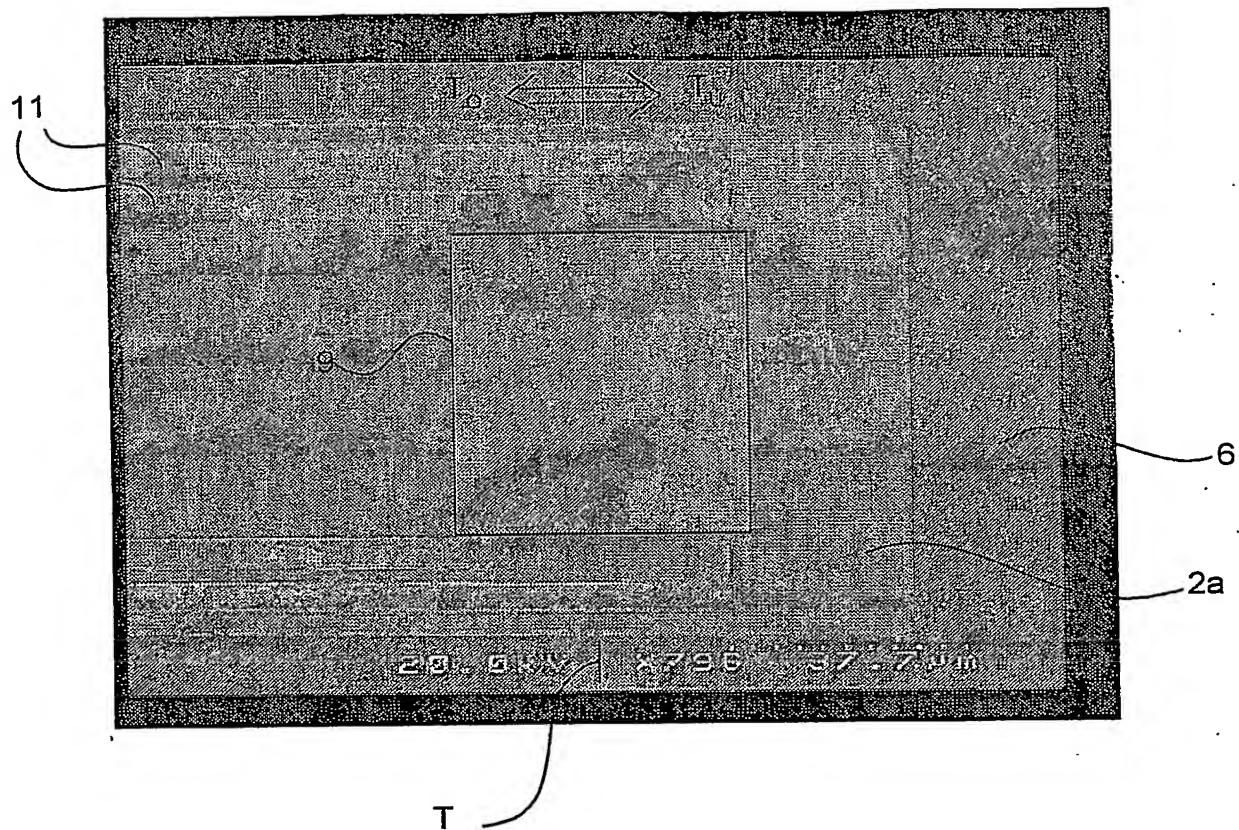


**Fig. 2d**



**Fig. 2e**

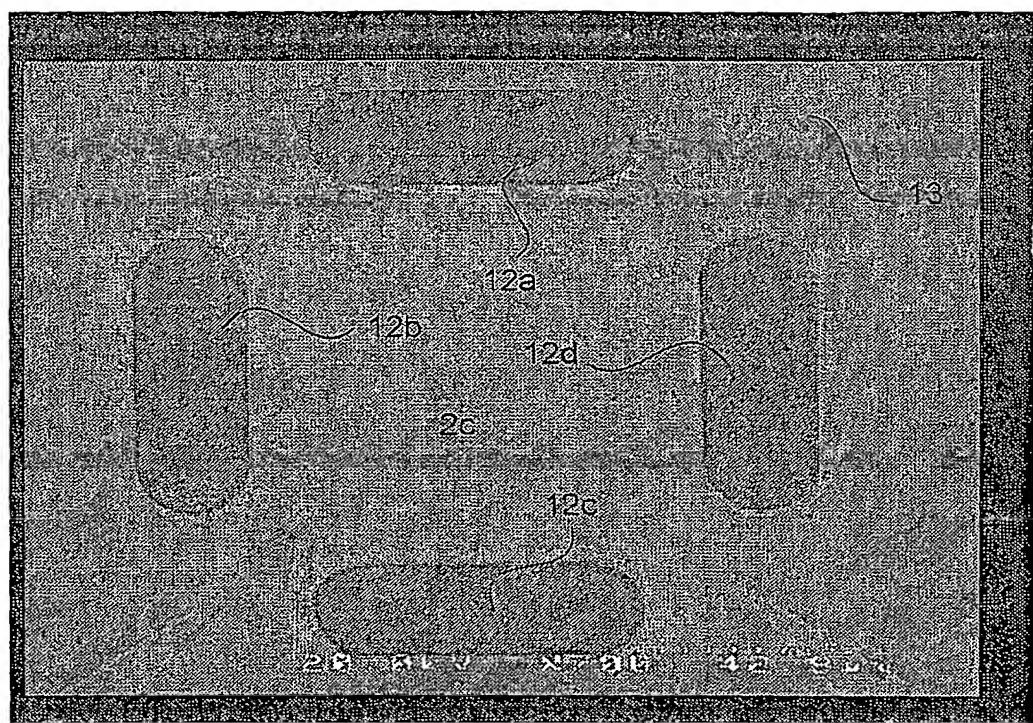
8/20

**Fig. 2f**



**Fig. 2g**

10/20



**Fig. 2h**

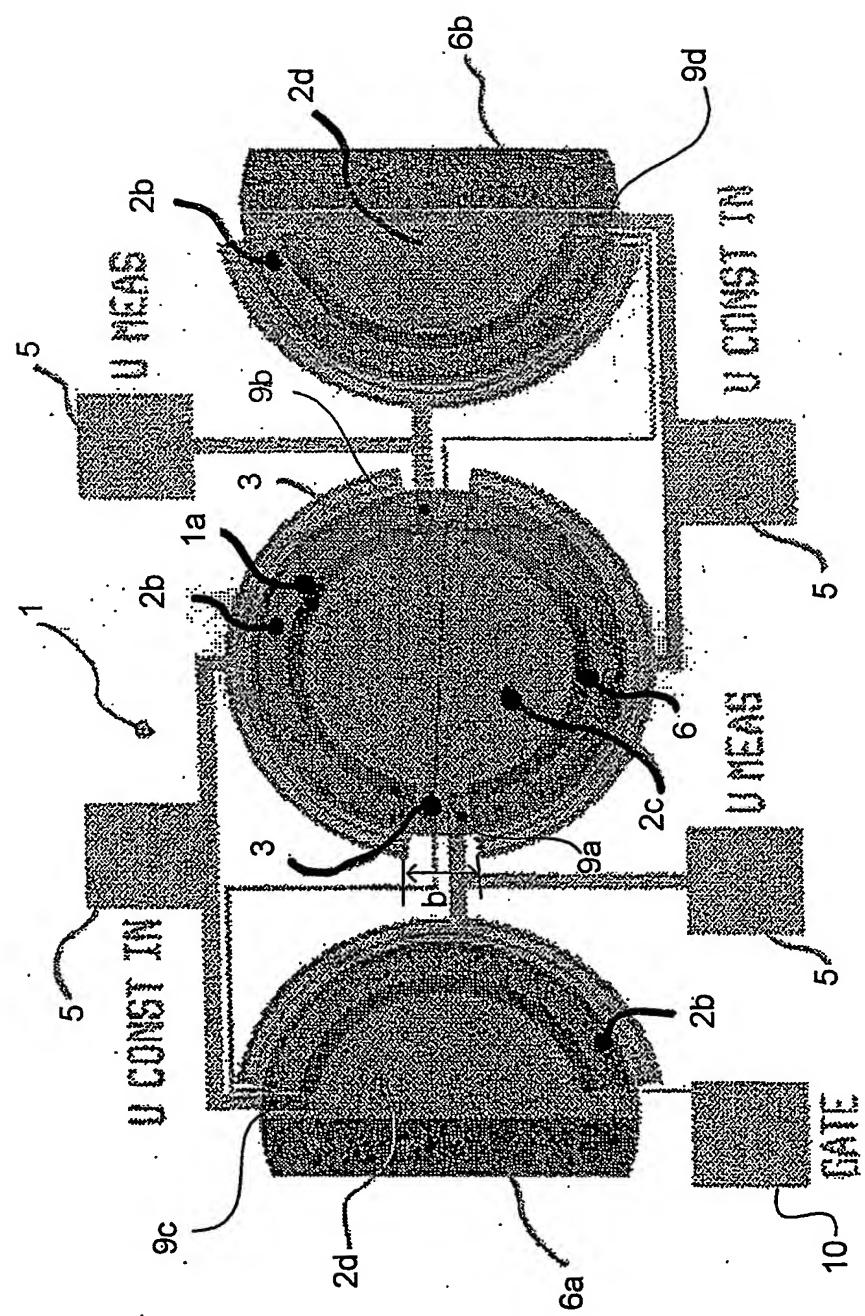
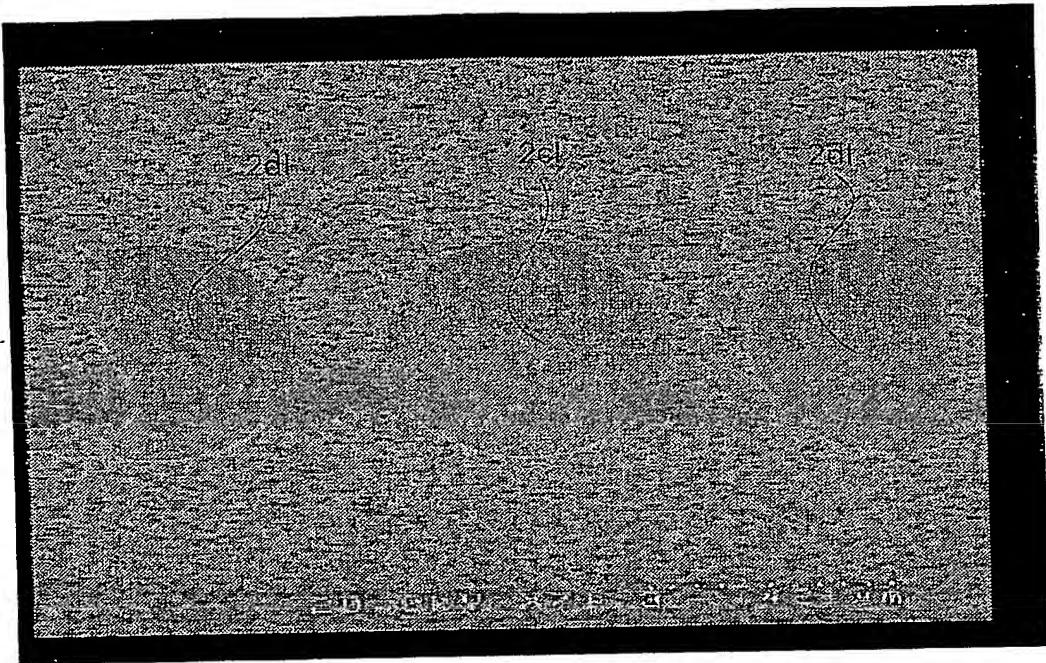
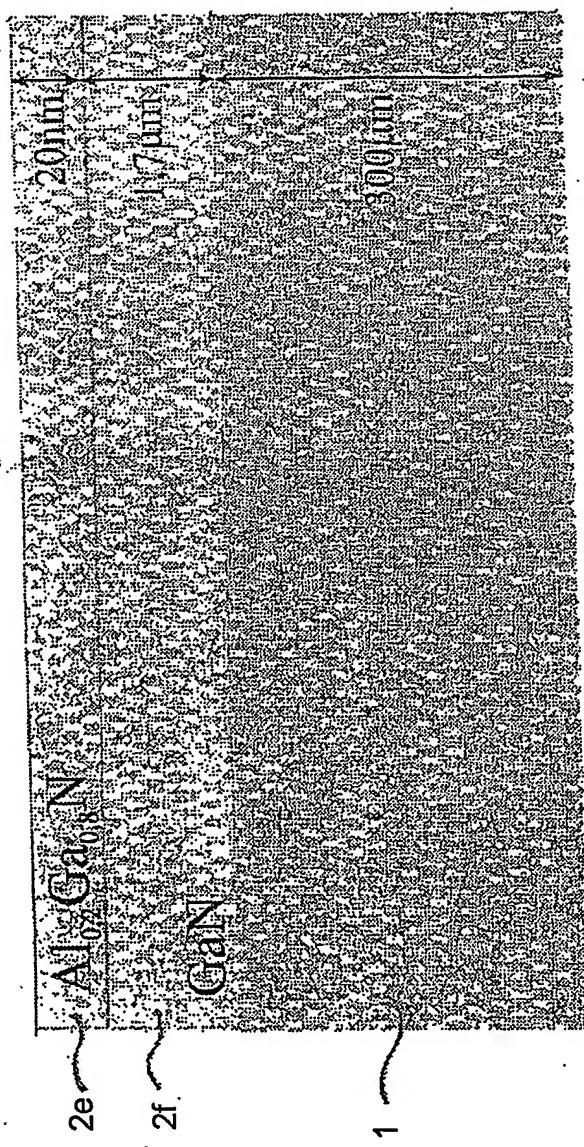


Fig. 3a

12/20



**Fig. 3b**



**Fig. 4**

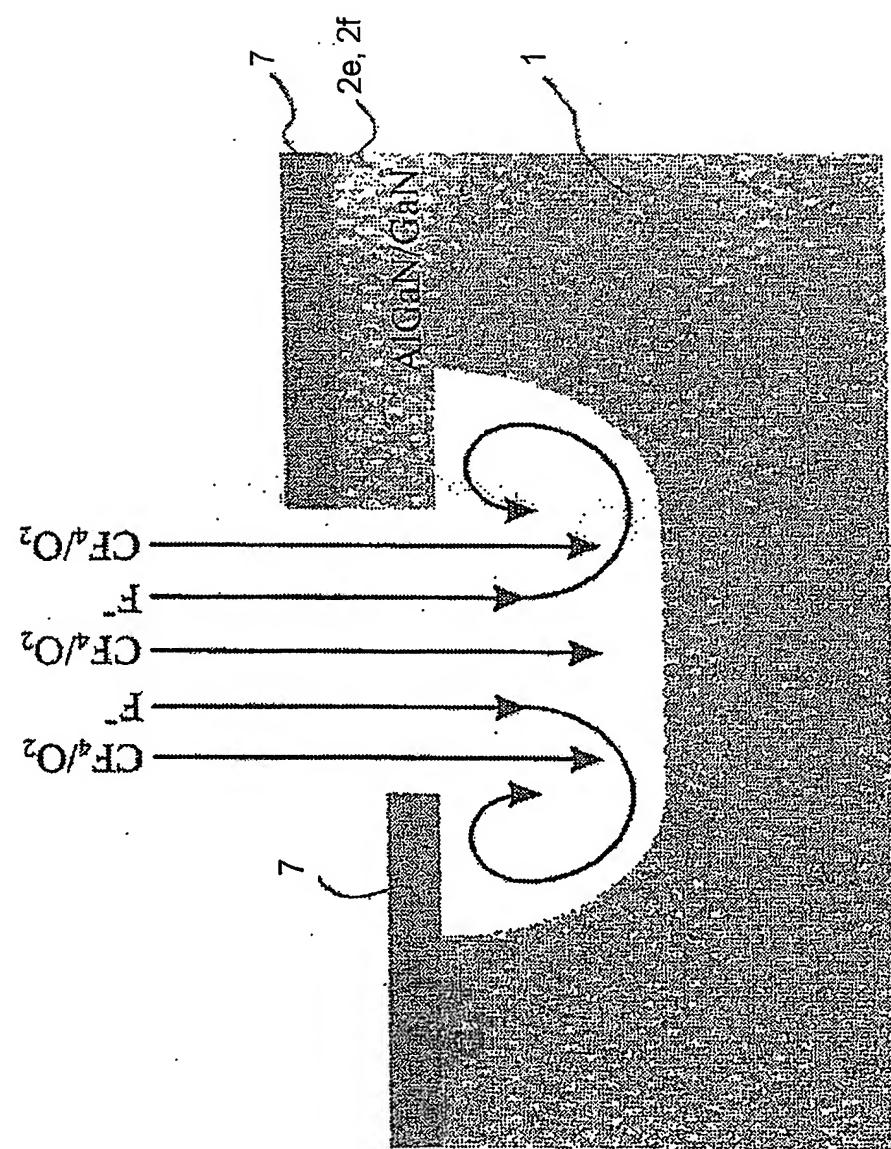


Fig. 5

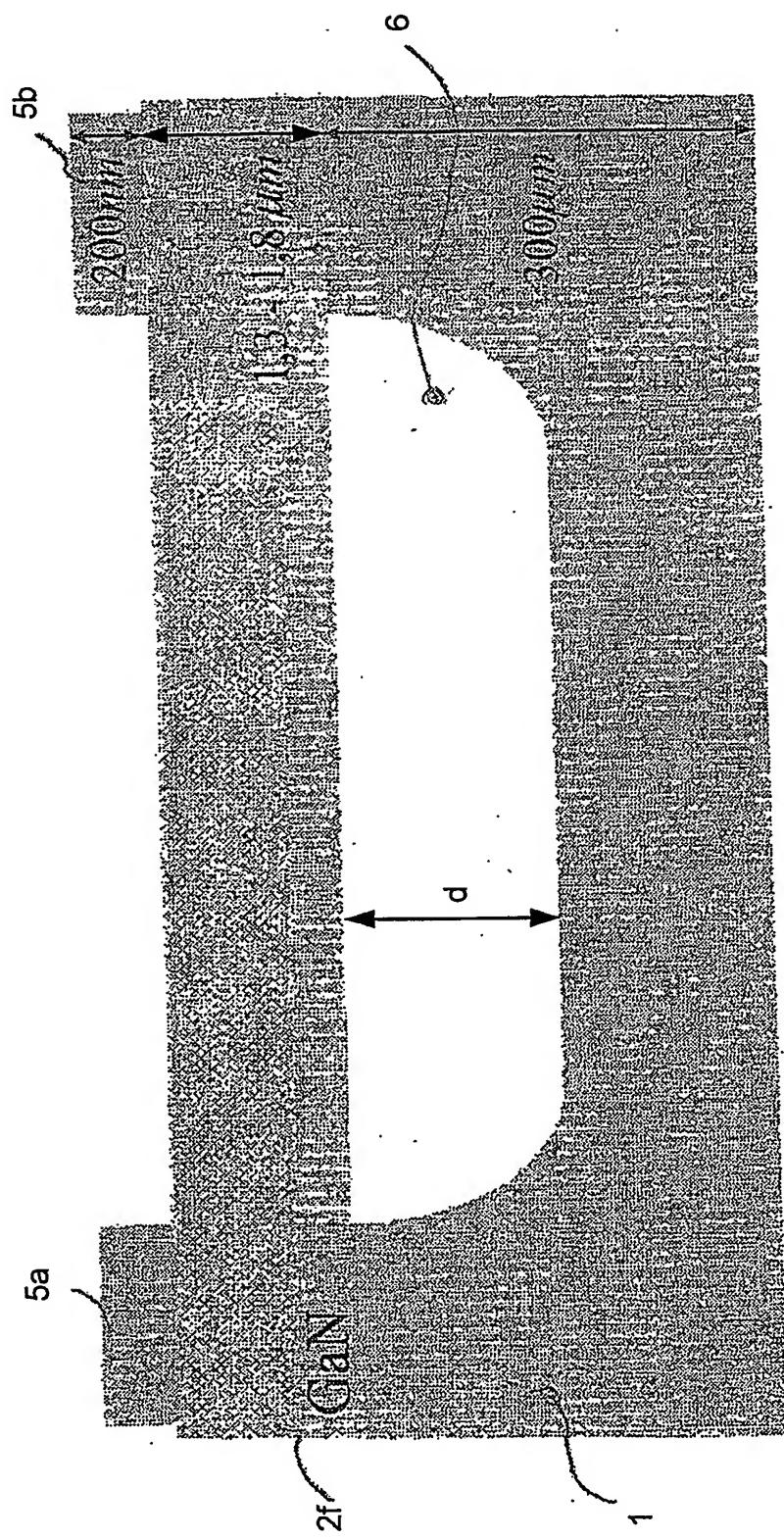
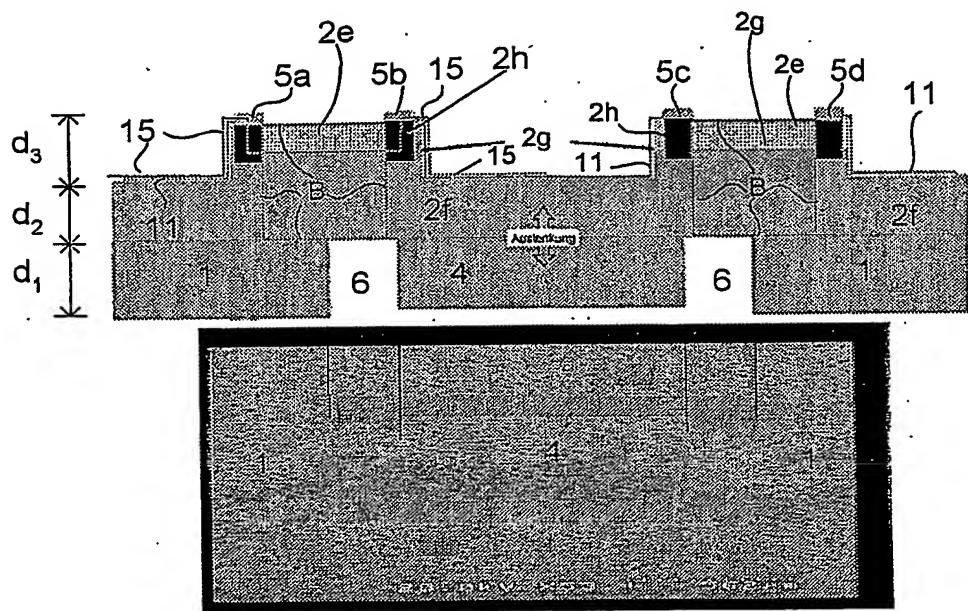


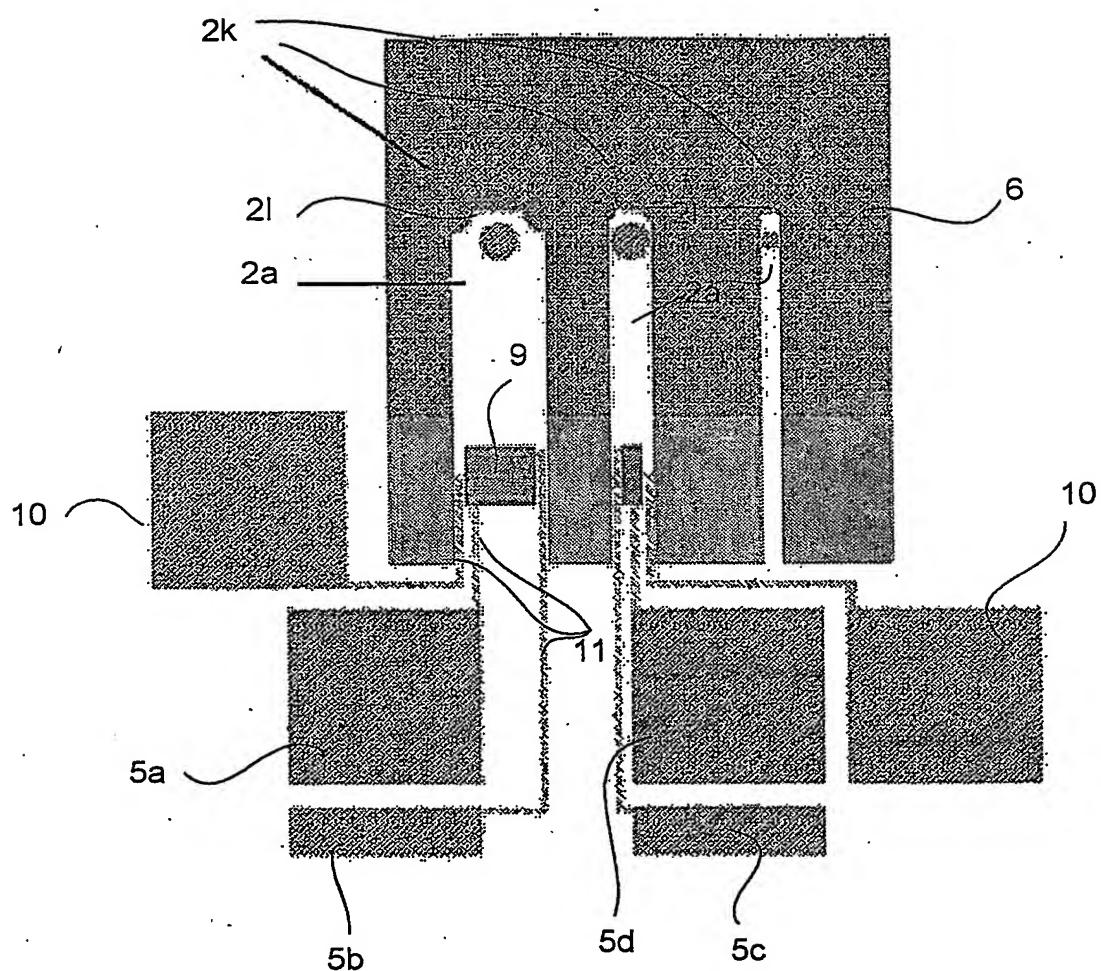
Fig. 6

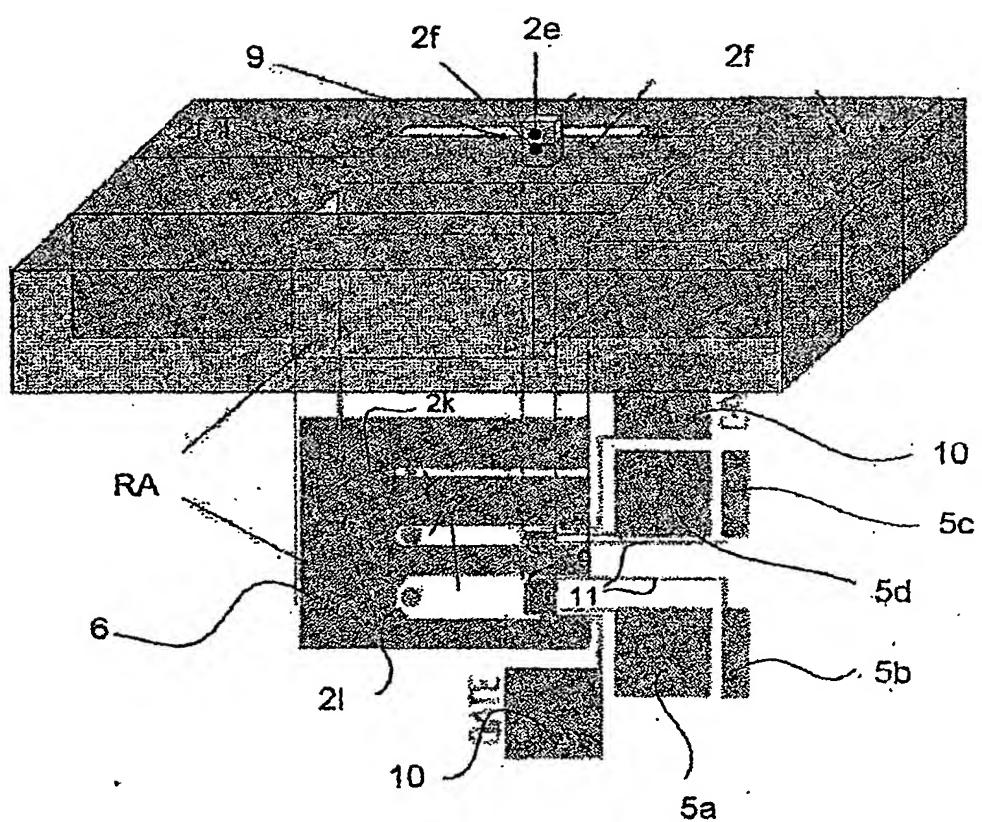
16/20



**Fig. 7**

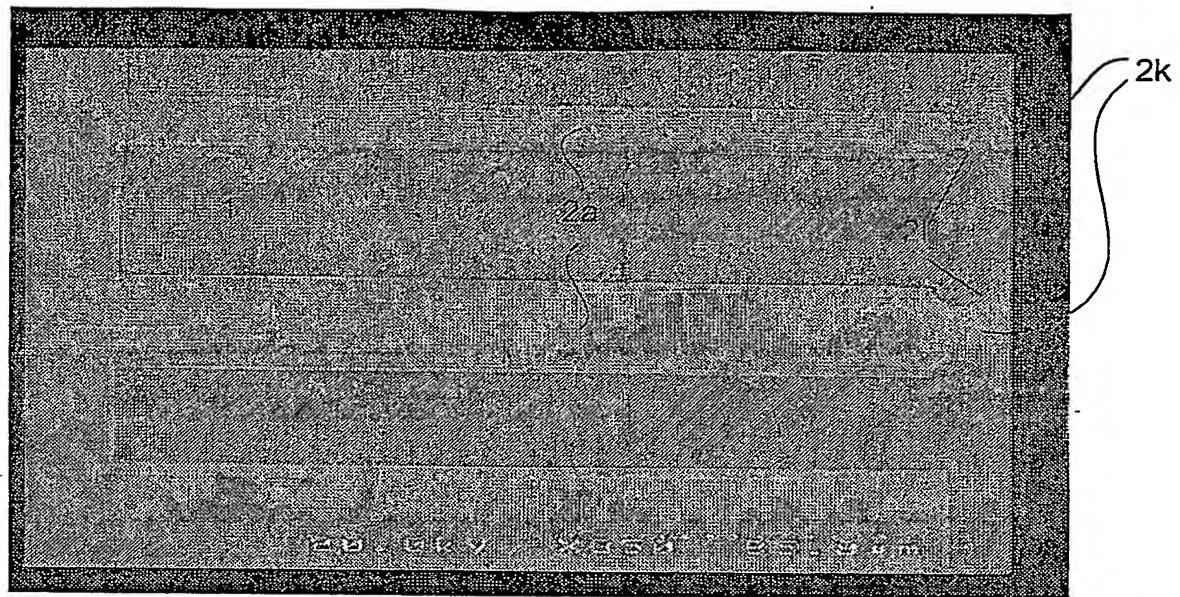
17/20

**Fig. 8a1**



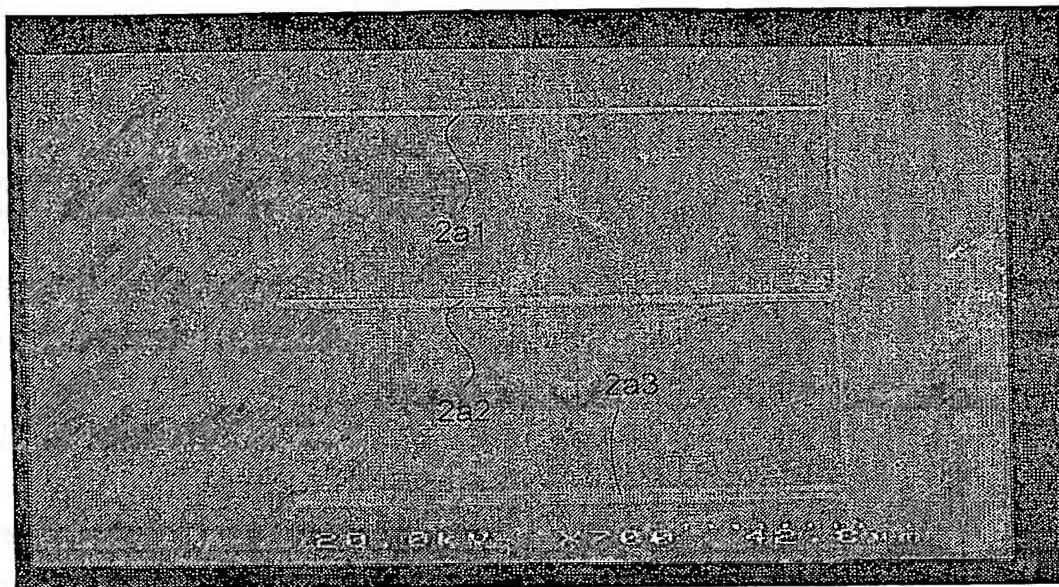
**Fig. 8all**

19/20



**Fig. 8b**

20/20



**Fig. 8c**